



И. Ю. РОГИНСКИЙ

ДЕТАЛИ МИНИАТЮРНОЙ РАДИОАППАРАТУРЫ

Рогинский Иосиф Юрьевич

ДЕТАЛИ МИНИАТЮРИОЙ РАДИОАППАРАТУРЫ

Редактор *А И Важинская*
Художественный редактор *Г А Гудков*
Технический редактор *В И Семенова*
Корректор *В А Кипрушев*

Сдаио в производство 21/IV 1970 г Подписано к печати 24/III 1971 г
М 22184 Печ л 7,5 Уч.-изд л 7 4 Бум л 3 75 Бумага типографская № 2, формат $60 \times 90^1/_{16}$ Тираж 60 000 экз Цеиа 30 коп
Заказ 1194
Лениградское отделение издательства «Энергия»
Марсово поле 1

Ордена Трудового Красного Знамени Ленинградская типография № 1 «Печатный Двор» имени А М Горького Главполиграфпрома Комитета по печати при Совете Миннс.ров СССР, г Леннград, Гатчинская ул , 26

МАССОВАЯ РАДИОБИБЛИОТЕКА

Выпуск 748

И Ю РОГИНСКИЙ

ДЕТАЛИ МИНИАТЮРНОЙ РАДИОАППАРАТУРЫ



«ЭНЕРГИЯ»

ЛЕНИНГРАДСКОЕ ОТДЕЛЕНИЕ

1971

УДК 621.396.69
6Ф2 13
Р59

Книга подготовлена работниками издательства в нерабочее время

Рогинский И. Ю.

Р59 Детали миниатюрной радиоаппаратуры. «Энергия», Л., 1970.

120 стр. с рис. (Массовая радиобиблиотека, вып. 748).

Брошюра знакомит читателя с миниатюрными и микроминиатюрными элементами радиоэлектронной аппаратуры различного назначения и особенностями их производства. В ней приведены основные параметры и справочные данные радиодеталей промышленного изготовления.

Брошюра рассчитана на подготовленных радиолюбителей и читателей, занимающихся конструированием радиоаппаратуры.

3-4-5
446-70 **6Ф2.13**

ВВЕДЕНИЕ

Для современной радиоэлектронной аппаратуры характерна тенденция миниатюризации и микроминиатюризации радиодеталей и конструкций. Это вызвано стремлением уменьшить габариты и вес, еще шире внедрить механизацию и автоматизацию технологических процессов, сократить трудоемкость и снизить стоимость аппаратуры.

Функционально-узловой метод конструирования позволяет сложную радиоэлектронную схему разделить на простейшие типовые схемы, выполняющие функции усилителя, мультивибратора, триггера, блокинг-генератора, схемы совпадения и др. В результате этого представляется возможным создать миниатюрные и микроминиатюрные функциональные узлы и блоки, законченные в конструктивном отношении.

Различные методы микроминиатюризации позволяют применить более прогрессивную технологию, снизить потребляемую мощность и повысить качество радиоаппаратуры. Выбор того или иного метода определяется техническими условиями, производственными возможностями, требованиями надежности и экономической эффективности. Одним из методов микроминиатюризации является применение модульных и микромодульных конструкций, которые представляют собой унифицированные функциональные узлы и микроблоки, выполненные на основе миниатюрных радиодеталей.

В последние годы быстрыми темпами развивается микроэлектроника, которая характеризуется созданием принципиально новых конструкций и открывает еще большие возможности микроминиатюризации радиоэлектронной аппаратуры. Элементы электрической схемы и узлы, выполненные методами микротехнологии, принято называть м и к р о с х е м о й. Создание микросхем является одним из направлений микроэлектроники. В микроминиатюрной радиоэлектронной аппаратуре широко используются тонкопленочные, интегральные полупроводниковые и гибридные схемы. Микросхемы могут содержать большое количество элементов, что позволяет разместить сложные электронные устройства на небольшом основании. Наряду с этим оказывается возможным значительно уменьшить паразитные емкостные связи между элементами схемы и повысить надежность их работы.

Большие перспективы открываются с применением интегральных и гибридных схем. Микроминиатюрные моноблоки могут выполнять предусмотренные электрической схемой функции за счет создания в полупроводниковом кристалле определенных областей и слоев с необходимыми схемными элементами. На одной полупроводниковой пластине может быть сформировано несколько десятков твердых схем.

Расширяется производство радиоэлектронной аппаратуры с применением гибридных схем, которые могут содержать тонкопленочные и полупроводниковые элементы в сочетании с навесными объемными миниатюрными радиодеталями. Гибридные схемы часто оказываются экономически более выгодными по сравнению с другими методами микроминиатюризации и дают возможность быстро вносить изменения в конструкцию, что позволяет говорить об их перспективности в течение многих лет.

В радиоэлектронной аппаратуре также применяются микроэлементы на основе микропровода, которые способствуют развитию микроминиатюризации. Микропроводом называют литую микропроволоку в стеклянной изоляции.

В настоящее время можно изготовить микропровод диаметром 2—3 *мкм* и более из меди, серебра, никеля, манганина и других материалов. Он обладает хорошей электрической и механической прочностью, высоким электрическим сопротивлением и пробивным напряжением, а также большой допустимой плотностью тока. Хорошие качества стеклянной изоляции позволяют применять микропровод для создания высокочастотных микроэлементов: микрорезисторов, микроминиатюрных катушек индуктивностей, микротрансформаторов, *RC*-цепочек, а также элементов для микромодулей, гибридных схем и др. Все они обладают высокой точностью, стабильностью и надежностью. Основой для сборки элементов и микроузлов являются монтажные платы.

В данной брошюре автором сделана попытка осветить некоторые вопросы конструирования и технологии производства миниатюрных радиодеталей, микроэлектронных узлов и блоков радиотехнической аппаратуры.

ГЛАВА ПЕРВАЯ

МОНТАЖНЫЕ ПЛАТЫ

1. Печатные платы

При современных методах конструирования радиоэлектронной аппаратуры широко используются различные конструкции печатных плат и техника печатных схем. Для схем применяется изоляционное основание — плата, на которой размещаются плоские токопроводящие цепи (печатный монтаж) и печатные или объемные навесные радиодетали. Замена объемного монтажа печатным позволяет механизировать и автоматизировать сборочные и монтажные работы, снизить их трудоемкость, стоимость и сократить время на изготовление радиоаппаратуры. Конструкции с печатными платами надежны и удобны в эксплуатации. Технология их производства связана с изготовлением заготовок плат, получением фотооригинала и негатива схемы, переносом изображения схемы и нанесением токопроводящих линий на плату.

В настоящее время известны многочисленные методы получения печатных схем. Они разделяются по способу нанесения изображения схемы и создания металлизированных проводников на плате. Нанесение рисунка схемы на плату может осуществляться фотохимическим и шелкографическим способами, офсетной печатью, горячим тиснением красочной фольги и др. К наиболее распространенным способам изготовления печатного монтажа относятся следующие.

Химический метод травления фольгированного диэлектрика без металлизации отверстий платы. Способ заключается в химическом растворении отдельных участков металлической фольги, покрывающей сплошным слоем диэлектрик, с тем, чтобы на плате оставался металлизированный рисунок заданной схемы.

Электрохимический метод. При этом осуществляется металлизация соответствующих участков платы и отверстий путем химического осаждения меди с последующим усилением металлизированного слоя в гальванических ваннах.

Применяется также комбинированный метод — метод травления фольгированного диэлектрика с металлизацией отверстий, а также метод переноса, где гальваническим

осаждением меди рисунок схемы наносится на металлическую пластинку, а затем он переносится на плату. Метод переноса широко используется в крупносерийном производстве.

В зависимости от принятого технологического процесса получения печатного монтажа для плат применяют различные материалы, обладающие хорошими диэлектрическими свойствами, достаточной прочностью и обрабатываемостью. Во избежание возникновения значительных паразитных емкостей между печатными проводниками диэлектрическая проницаемость не должна быть большой ($\varepsilon \leqslant 7$), тангенс угла диэлектрических потерь $\operatorname{tg} \delta$ не более 0,06 на частоте 1 *Мгц*. Малый тангенс угла диэлектрических потерь особенно важен для высокочастотных цепей. Удельное объемное сопротивление изоляции ρ_v должно быть не менее 10^{10} *ом·см*; удельное поверхностное сопротивление изоляции ρ_s — не менее 10^{10} *ом*; электрическая прочность — не менее 15 *кв/мм*. Теплостойкость диэлектриков для плат должна обеспечить возможность применения групповой пайки при температуре 230—270° С. Стабильность электрических параметров — в интервале рабочих температур от —60 до +120° С. Стабильность электрических, физико-химических и механических свойств должна сохраняться в процессе обработки плат.

В производстве печатных плат используется электротехнический гетинакс марок Ав, Вв и Гв, который обеспечивает нормальную работу схем на частотах до 30 *Мгц*. На сверхвысоких частотах применяют фторопласт, «продукт 10» и т. п. Используется также стеклотекстолит СФ-1, СФ-2, низкочастотный фольгированный диэлектрик НФД-180-1 и НФД-180-2 и другие материалы. Применение фольгированного гетинакса ГФ-1 и ГФ-2 позволяет использовать эффективный метод травления. В качестве материалов для плат применяется также текстолит В-4 и стекловолокнит АГ-4 и АГ-7, а также пресспорошки.

Большое распространение получили платы квадратной или прямоугольной формы с соотношением сторон 1 : 1, 2 : 1, 3 : 2 и 5 : 2. Размеры плат не должны превышать 360×240 *мм*, а для малогабаритной аппаратуры с повышенной плотностью монтажа — 180×120 *мм*; толщина платы 0,8; 1,0; 1,5 и 2,0 *мм*.

При разработке печатной схемы необходимо учитывать определенные нормы и требования в отношении расположения проводников на плате, определения их толщины, ширины, расстояния между ними и т. п. Печатные проводники обычно имеют толщину 40—80 *мкм*, а ширину 0,5—1,5 *мм* и более и могут располагаться на одной или обеих сторонах платы. Одностороннее расположение печатного монтажа усложняет задачу конструктора, но при этом имеются существенные технологические и экономические преимущества. Располагая навесные радиодетали со стороны, противоположной печатному монтажу, можно применить механизированные способы соединения выводов радиодеталей с печатными проводниками. Расстояние между ними на плате обычно не менее 0,5—1 *мм*. Не рекомендуется размещать близко друг от друга проводники

с большой разностью потенциалов. Для импульсных цепей они должны быть минимальной длины и ширины и максимально удалены от проводов, заземленных по переменному току.

После размещения схемы на плате производится проверочный расчет печатного монтажа. Так, например, проводники импульсных цепей рассчитывают на падение напряжения, проводники с большими токами — на допустимую плотность тока (для печатного монтажа это 20—30 *а/мм²*). Проводники высоковольтных цепей рассчитывают на пробивное напряжение, а некоторые высокочастотные цепи проверяют на допустимые паразитные емкости. Прочность сцепления печатных проводников с платой не должна быть ниже 15—30 *кГ/см²*.

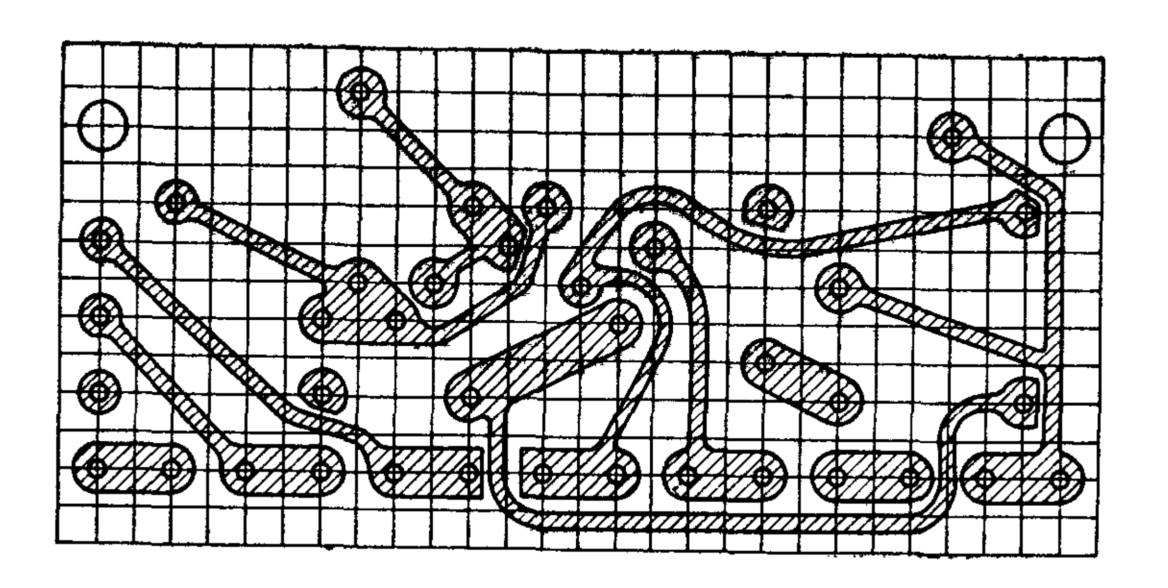


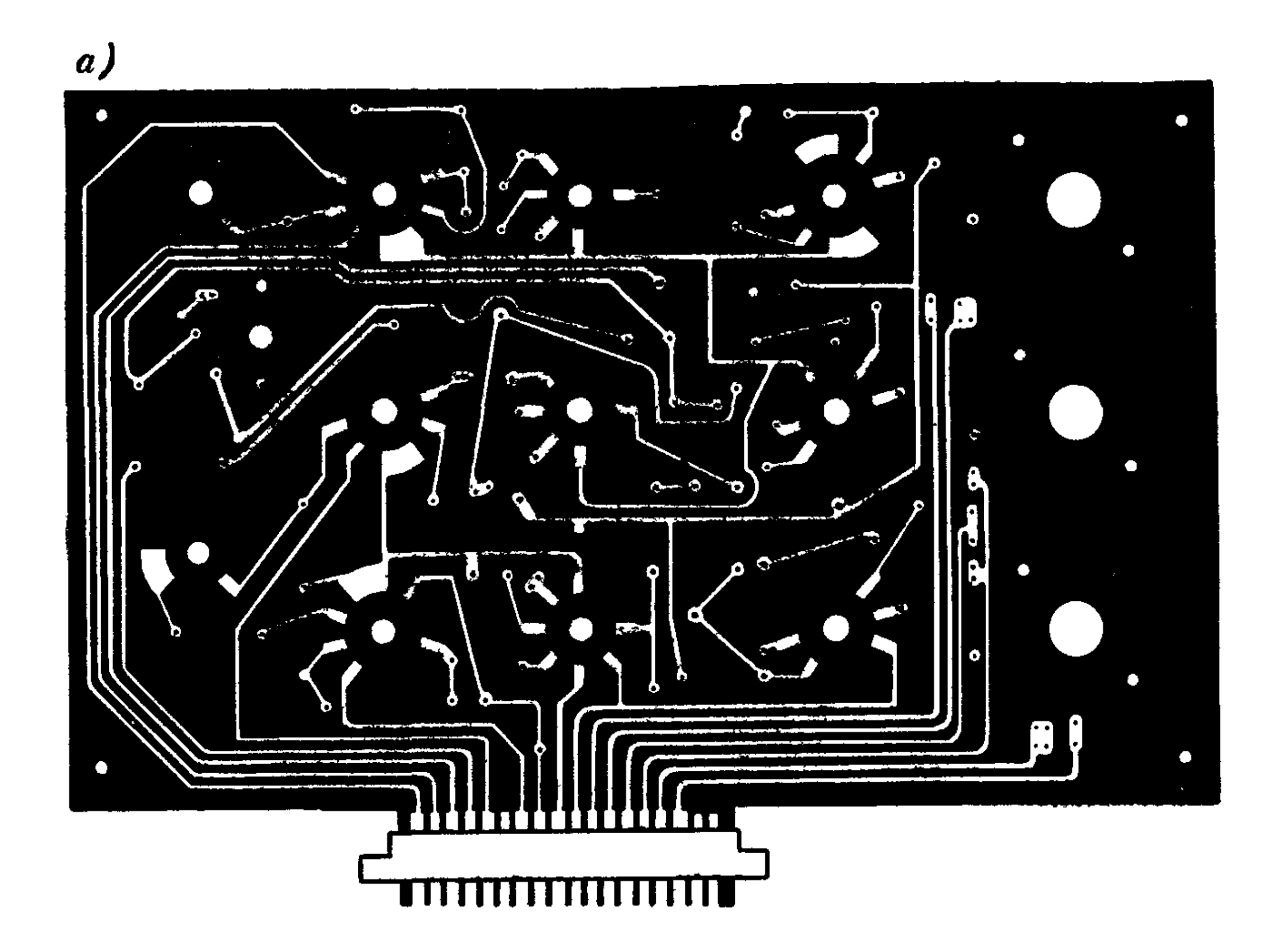
Рис. 1. Печатная плата с проводниками шириной более 2 *мм*

На плату условно наносится координатная сетка, состоящая из параллельных равноотстоящих друг от друга линий. Она служит для установления определенной системы взаимного расположения отверстий печатных проводников и радиодеталей. Отверстия имеют контактные площадки и наносятся в узлах координатной сетки — точках пересечения двух взаимноперпендикулярных линий сетки. Расстояние между двумя ближайшими параллельными линиями сетки называется шагом координатной сетки. При выполнении чертежей плат с координатной сеткой в прямоугольной системе координат ГОСТ рекомендует основной шаг 2,5 *мм* и дополнительный 0,5 *мм*.

На рис. 1 представлен пример оформления платы с печатным монтажом. Проводники шириной более 2 *мм* изображаются на чертеже двумя линиями со штриховкой между ними под углом 45°. Печатные проводники до 2 *мм* изображаются одной линией.

На рис. 2 представлены некоторые конструкции плат, несущие печатные проводники и печатные радиодетали, например, электри-

a)



б)

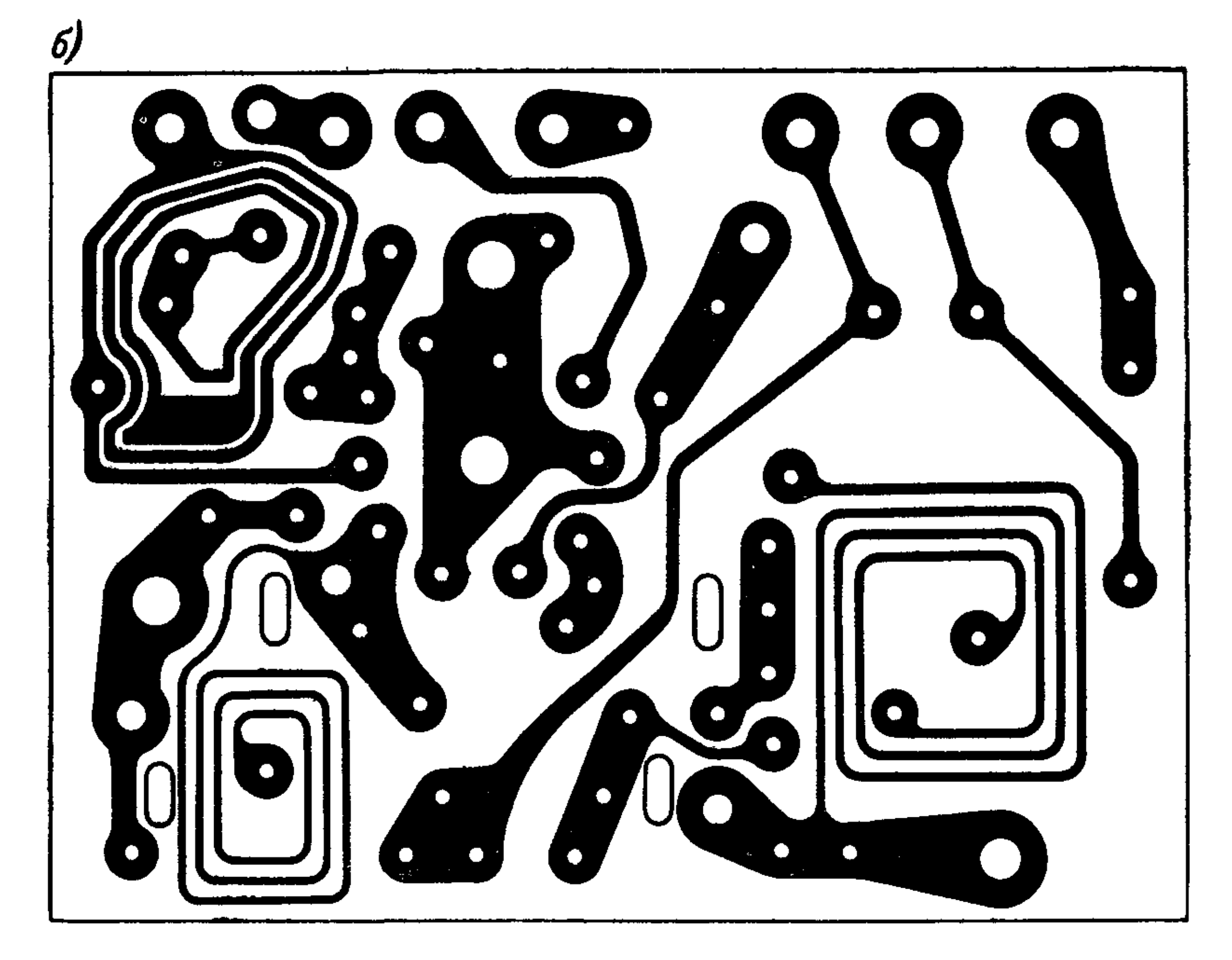


Рис. 2. Конструкции плат. *а* — с электрическим разъемом, *б* — с катушками индуктивности

ческие разъемы (рис. 2, *а*), катушки индуктивности (рис. 2, *б*) и другие. Большое применение получил печатный монтаж в сочетании с навесными объемными радиодеталями, специально предназначенными для печатных плат.

Платы с печатным монтажом нуждаются в защите от воздействия внешней среды. Для этой цели применяются покрытия плат лаками типа СБ-1с, покрытие и заливка лаком № 460, компаундами на основе эпоксидных смол ЭД-5 и другие. Обычно платы покрываются до и после установки навесных радиодеталей.

2. Микроплаты

При разработке радиоэлектронной аппаратуры в микромодульном исполнении в качестве основания для микроэлементов применяются микроплаты. На них устанавливаются печатные или навесные объемные микроминиатюрные радиодетали специальной формы, а также проводники — перемычки. Микроплаты могут быть также использованы для повышения механической прочности конструкции.

Типовая нормализованная микроплата представляет собой основание из диэлектрика (рис. 3, *а*). Она снабжена 12-ю пазами — по 3 фасонных выреза с каждой стороны, которые металлизируются и облуживаются. Облуживание по контуру увеличивает размеры микроплаты до 9,85×9,85 *мм*, а толщину ее — до 0,49 *мм*. Пазы служат для сборки и электрического соединения микроэлементов, входящих в состав микромодуля. В них впаиваются 12 вертикальных соединительных проводников. С целью создания металлизированных токопроводящих выводов для подключения микроэлементов производится серебрение микроплат по плоскости через трафарет.

Цифрами по сторонам микроплаты условно обозначена нумерация пазов, которая начинается от ключа — прямоугольного выреза в левом верхнем углу и ведется по часовой стрелке от нормального положения микроплаты. Ключ служит для ориентации микроплат в процессе изготовления микроэлементов, а также при их сборке и определения порядка нумерации пазов.

Максимальная рабочая зона на микроплате определяется размерами 7,6×7,6 *мм*. На этой площади могут также располагаться токопроводящие выводы.

На рис. 3, *б* показана так называемая кроссировочная микроплата. Она снабжена двенадцатью отверстиями и печатными проводниками. Такие конструкции используются для размещения на них навесных радиодеталей в процессе макетирования, а также для объемных перемычек, предназначенных для замыкания соединительных проводников внутри микромодуля.

Конструкции специальных микроплат по сравнению с нормализованными имеют повышенную толщину (более 0,3 *мм*), соответ-

Рис. 3. Микроплаты: *а* — типовая; *б* — кроссировочная

ствующие отверстия, пазы и другие конструктивные отклонения для расположения радиоэлементов: микротрансформаторов, микротранзисторов, микродиодов и т. п.

3. Платы для микроблоков

Основанием микромодульного блока является плата с печатным монтажом. На рис. 4 представлен внешний вид такой платы с отверстиями, предназначенными для установки микромодулей. Обычно они имеют квадратную или прямоугольную форму, а материалом служит листовой гетинакс марок Вв и Эв, фольгированные гетинакс ГФ-1 и стеклотекстолит марки СФ-1 и СФ-2, фольгированный диэлектрик НФД-180 и другие материалы.

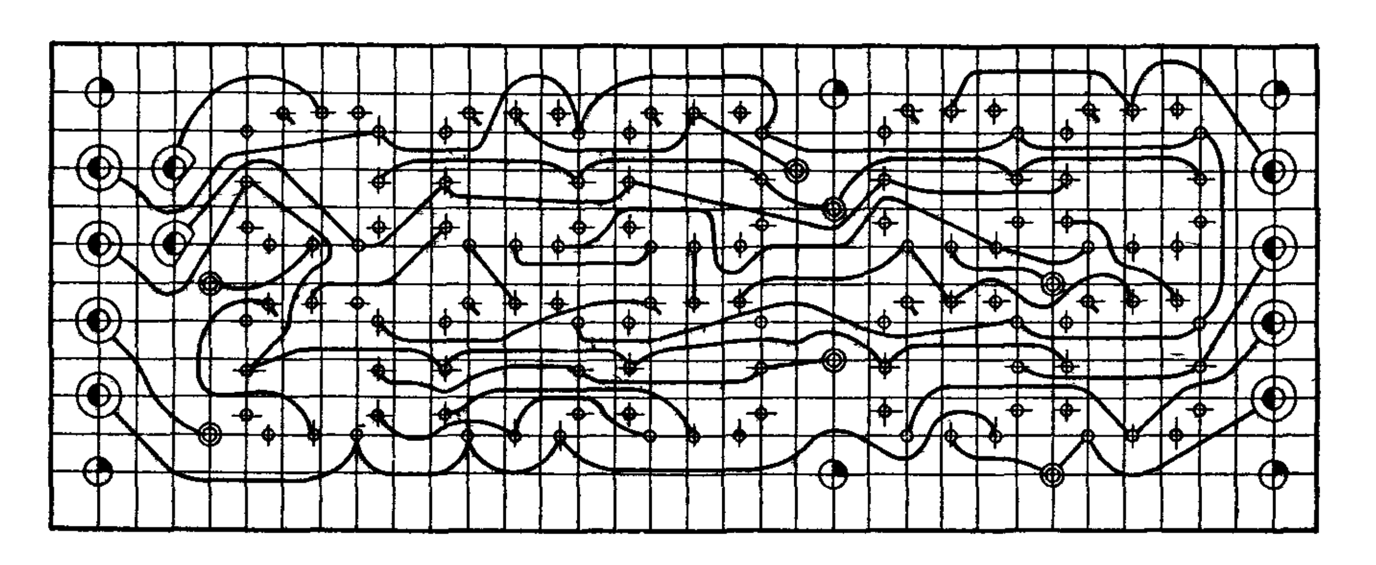


Рис 4. Плата для микроблоков

Обычно платы имеют размеры не более 120×180 *мм* при толщине листа 0,8—2,0 *мм*. Печатные проводники на них располагаются в соответствии с координатной сеткой. Например, на рис. 4 представлена плата размером 86×32×2 *мм* с шагом координатной сетки 2,5 *мм*. Ширина проводников и расстояние между ними зависят от метода нанесения печатного монтажа и колеблются в пределах 0,3—2,0 *мм*; толщина проводников 30—80 *мкм*. Двенадцать монтажных отверстий под выводы каждого микромодуля имеют диаметр 0,6—0,7 *мм*.

На платах располагаются монтажные отверстия под выводы микромодулей и отверстия, соединяющие печатные проводники и другие навесные элементы схемы. Они имеют металлизированные участки, окружающие их со стороны печатного монтажа — печатные контактные площадки. Форма контактных площадок может быть произвольной, но площадь не должна быть менее 4 *мм*^{2}.

Контактная площадка отверстия под первый вывод микромодуля (ключевой вывод) имеет отличную от других форму, например «усик».

ГЛАВА ВТОРАЯ

РЕЗИСТОРЫ

4. Общие сведения

Резисторы можно классифицировать по следующим основным признакам: характеру изменения величины сопротивления (постоянные и переменные); виду материала токопроводящего элемента; назначению; конструктивно-технологическим и другим признакам. Основными группами резисторов являются: непроволочные постоянные и переменные; проволочные постоянные и переменные; полупроводниковые.

Непроволочные резисторы постоянного сопротивления являются широко распространенными радиодеталями. Они применяются в различной радиоэлектронной и измерительной аппаратуре в цепях постоянного и переменного токов, а также для работы в импульсном режиме в качестве нагрузочных, гасящих и развязывающих элементов, делителей и элементов фильтров в цепях питания, в колебательных контурах и т. п.

В непроволочных резисторах токопроводящим элементом является углеродистый, композиционный или металлизированный состав. Токопроводящий элемент может быть выполнен в виде тонкого слоя — пленки (пленочные резисторы) или массы, заключенной между выводами (объемные резисторы). Величина электрического сопротивления токопроводящего элемента зависит от его удельного объемного сопротивления, площади поперечного сечения и длины.

Непроволочные резисторы переменного сопротивления конструктивно выполняются в виде основания из диэлектрика, на которое наносится токопроводящая пленка, либо токопроводящим элементом является весь объем.

Величина сопротивления переменных резисторов меняется с углом поворота подвижного контакта, причем зависимость изменения R от угла поворота может быть линейной или нелинейной. Чаще всего она изменяется по логарифмическому закону.

В производстве радиотехнической аппаратуры находят также применение проволочные резисторы постоянного и переменного сопротивления. Однако они менее распространены по сравнению с непроволочными резисторами. Токопроводящий элемент у проволочных резисторов выполнен из провода высокого удельного сопротивления — нихрома, константана, манганина и других сплавов.

Для проволочных резисторов характерна довольно сложная технология изготовления и относительно большие габариты. По сравнению с непроволочными резисторами они обладают большой стабильностью и надежностью, допускают работу при высоких температурах, выдерживают значительные перегрузки. Стоимость их выше непроволочных резисторов, но зато эти резисторы высоконадежны. Интенсивность отказов на один час работы проволочных резисторов постоянного сопротивления $3{,}5\times10^{-6}$, переменного сопротивления — 18×10^{-6}.

Резисторы характеризуются определенными параметрами, которые дают представление об их эксплуатационных свойствах. К этим параметрам относятся следующие.

Номинальное сопротивление и допускаемое отклонение от номинала. Так как резисторы изготовляются с самыми разнообразными величинами сопротивления, которые, как правило, в процессе изготовления не могут быть точно выдержаны, то для резистора величина сопротивления

$$R = R_{\text{ном}} \pm A\%,$$

где $R_{\text{ном}}$ — номинальная величина сопротивления резистора; A — допускаемое отклонение величины сопротивления от номинальной.

Величину отклонения сопротивления от номинального значения, выраженную в процентах, называют классом точности и определяют как

$$A = \frac{R - R_{\text{ном}}}{R_{\text{ном}}} 100\%.$$

Шкала номинальных значений для непроволочных резисторов постоянного сопротивления (за исключением высокочастотных) предусмотрена ГОСТ 2825—67, для проволочных и непроволочных резисторов переменной величины — ГОСТ 10318—62. Классы точности регламентированы ГОСТ 9664—61.

Большинство резисторов, выпускаемых промышленностью, имеют отклонения от номинального значения ±5, ±10 и $\pm20\%$, что соответствует I, II и III классам точности. Для переменных резисторов фактическая величина сопротивления может отличаться от номинальной до $\pm30\%$. Номинальное значение сопротивления и класс точности обычно указываются на корпусе резистора.

Номинальная мощность и предельное рабочее напряжение. Под номинальной мощностью рассеяния понимают предельно допустимую мощность, которую резистор может рассеивать при длительной электрической нагрузке в течение гарантированного срока своей службы. Она определяется как

$$P = I^2R,$$

где P — номинальная мощность рассеяния, *вт*; I — ток, *а*; R — номинальное сопротивление, *ом*.

Каждый тип резистора имеет предельное рабочее напряжение, при котором осуществляется нормальный режим его работы. При превышении допустимой величины предельного напряжения вдоль проводящего слоя резистора возникает искрение, и вследствие этого происходит дополнительный нагрев резистора. Возможен даже электрический пробой.

Температурный коэффициент сопротивления (ТКС) — характеризует относительное изменение сопротивления резистора при изменении его температуры на 1° С. Этот коэффициент определяется в виде

$$\text{ТКС} = \frac{\Delta R}{R_0 \Delta t},$$

где ΔR — относительное изменение величины сопротивления; R_0 — сопротивление резистора при нормальной температуре; Δt — разность температур $(t_1 - t_0)$.

ТКС непроволочных резисторов может иметь положительный или отрицательный знак в зависимости от свойств токопроводящего элемента резистора: для проводниковых материалов ТКС положительный, для полупроводниковых — отрицательный. Что касается абсолютного значения ТКС, то он зависит от удельного электрического сопротивления токопроводящего элемента резистора. Для непроволочных резисторов ТКС находится в пределах $\pm (2-20) \times 10^{-4}$ *град*$^{-1}$, а для проволочных резисторов $\pm 2 \times 10^{-4}$ *град*$^{-1}$.

К другим электрическим параметрам резисторов относятся:

коэффициент напряжения, характеризующий стабильность величины сопротивления; является показателем нелинейности сопротивления при изменении напряжения на резисторе;

коэффициент нагрузки, характеризующий изменение величины сопротивления резистора под воздействием протекающего по нему тока нагрузки;

коэффициент увлажнения, характеризующий относительное изменение сопротивления в результате насыщения резистора влагой;

шумы резисторов. При прохождении электрического тока через резистор величина его непрерывно меняется. В свою очередь непрерывно изменяется напряжение и возникает переменная электродвижущая сила (э. д. с.) резистора. Вместе с полезным сигналом в схеме может усиливаться э. д. с., и на выходе будут слышны посторонние шумы, называемыми шумами резисторов.

Шумы резистора обычно разделяются на тепловые и флуктуационные. Первые из них обусловлены, как известно, хаотическим движением носителей зарядов.

Шумы, обусловленные флуктуацией проводимости, в непроволочных резисторах являются результатом того, что нет постоянного контакта между токопроводящими частицами элемента резистора, имеющего обычно зернистую структуру. При протекании тока через резистор непрерывно меняется падение напряжения на нем и возникает э. д. с. шума. Кроме того, это явление сопровождается микроскопическими электрическими пробоями между отдельными частицами проводящего слоя. Величина возникающего при этом э. д. с. шума зависит от качества резистора и приложениого к нему напряжения.

По величине э. д. с. шума резисторы разделяют на группы А и Б. Группа А характеризуется величиной уровня шума около 1 *мкв/в* при полосе пропускания частот в 1 *кгц*, а группа Б характеризуется

уровнем шума порядка 5 *мкв/в* при той же полосе пропускания частот. Уровень тепловых шумов примерно в 4—5 раз меньше уровня флуктуационных шумов. Причем уровень последних снижается по мере того, как уменьшается приложенное к резистору напряжение.

Из числа полупроводниковых резисторов наибольшую известность получили фоторезисторы, терморезисторы (термисторы) и варисторы.

ГОСТ 13453—68 устанавливает систему сокращенных обозначений на все виды резисторов; например, С4-5 — постоянный непроволочный объемный композиционный резистор с порядковым номером 5.

5. Непроволочные постоянные резисторы

А. РЕЗИСТОРЫ ШИРОКОГО ПРИМЕНЕНИЯ

К резисторам широкого применения относятся непроволочные резисторы типов МЛТ, УЛМ, МОН, КИМ, КОИ и др. Внешний вид некоторых из этих резисторов представлен на рис. 5.

Резисторы типа МЛТ (рис. 5, *а*). Металлизированные лакированные теплостойкие резисторы обладают улучшенными электрическими параметрами при сравнительно небольшой стоимости. В качестве основания для резисторов применяется керамический цилиндр, на который в вакууме наносится тонкий токопроводящий слой из специального металлического сплава большого удельного сопротивления. Благодаря тому, что толщина слоя невелика (около 1 *мкм*) и токопроводящий материал позволяет применять эти резисторы при повышенных температурах, они невелики по габаритам.

Металлопленочные резисторы типа МЛТ изготовляются по I, II и III классам точности. Они предназначены для работы в цепях постоянного и переменного тока и в импульсном режиме; ТКС $= \pm (7 - 12) \cdot 10^{-4}$ *град*$^{-1}$; интенсивность отказов на один час работы $1{,}5 \cdot 10^{-6}$. Теплостойкие резисторы типа ОМЛТ и ОМЛТЕ обладают повышенной механической прочностью и надежностью и широко применяются в качестве навесных элементов на печатных платах. Их номинально допускаемая мощность рассеяния 0,125—2,0 *вт*, вес 0,25—3,5 *Г*.

Резисторы типа УЛМ (рис. 5, *б*) — углеродистые лакированные малогабаритные. Они относятся к пленочным резисторам. По основным характеристикам и технологии изготовления аналогичны высокостабильным резисторам типа ВС. По своим габаритам и весу УЛМ во много раз меньше резисторов ВС. По своей конструкции представляют керамическое основание, на которое нанесен токопроводящий углеродистый состав. На концах стержня укреплены контактные выводы. Резисторы изготовляются по I, II и III классам точности. ТКС $= -(8-20) \cdot 10^{-4}$ *град*$^{-1}$.

Миниатюрные резисторы постоянного сопротивления УЛМ широко применяются в малогабаритной аппаратуре. Они предназна-

чаются для работы в цепях постоянного и переменного токов и в импульсных режимах. Могут применяться в условиях значительных вибраций и ускорений. Интенсивность отказов на один час работы $2 \cdot 10^{-6}$.

Резисторы типа МОН (рис. 5, *в*) — металлоокисные низкоомные резисторы — относятся к тонкослойным резисторам постоянного сопротивления. На поверхность керамической трубки нанесен токопроводящий слой из окиси металлов. Резисторы МОН изготов-

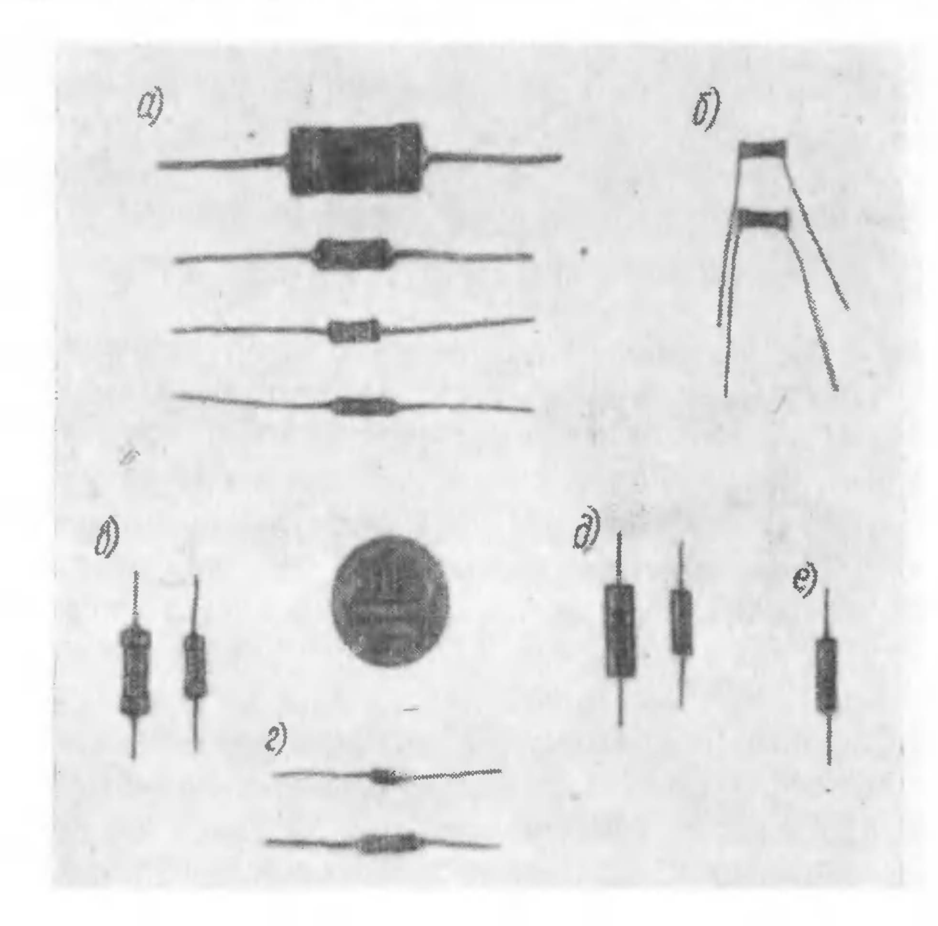


Рис 5. Внешний вид непроволочных постоянных резисторов широкого применения типа *а* — МЛТ, *б* — УЛМ; *в* — МОН; *г* — КИМ, *д* — КОИ; *е* — ТВО

ляются по I и II классам точности, ТКС = $\pm 5 \cdot 10^{-4}$ *град*$^{-1}$. Резисторы этого типа предназначены для работы в цепях постоянного и переменного токов и в импульсных режимах. Они могут использоваться в сложных температурных и атмосферных условиях при сильных вибрациях, ускорениях и ударной нагрузке.

Резисторы типа КИМ (рис. 5, *г*) — композиционные изолированные малогабаритные — имеют токопроводящий элемент, который представляет собой композицию из углерода в виде сажи или графита, наполнителя и связки. Резисторы предназначены для работы в цепях постоянного и переменного тока. Изготовляются по I, II и III классам точности, ТКС = — $(5—20) \cdot 10^{-4}$ *град*$^{-1}$.

Резисторы типа КОИ (рис. 5, *д*) — композиционные объемные изолированные — представляют собой монолитную массу, объем которой является токопроводящим элементом большого сечения

Это дает основание считать их высоконадежными и стабильными в работе. Резисторы этого типа предназначены для работы в цепях постоянного и переменного тока, а также в импульсных режимах. Они изготовляются с отклонениями от номинала ±3, ±5 и ±10%, ТКС = $\pm (15—20) \cdot 10^{-4}$ *град*$^{-1}$.

Миниатюрные резисторы широкого применения указанных типов могут быть охарактеризованы данными, приведенными в табл. 1.

Таблица 1

Тип резистора	Номинальная величина сопротивления	Номинальная допустимая мощность рассеяния, *вт*	Предельное рабочее напряжение *в*	Интервал рабочих температур, °С	Габариты, *мм*	Вес *г*
МЛТ	100 *ом*—10 *Мом*	0,25—2,0	250—750	От —60 до +125	2×6	0,15—3,5
УЛМ	27 *ом*—1 *Мом*	0,12	100—400	От —60 до +100	2×6,5	0,15
МОН	1—100 *ом*	0,5—2,0	10—100	От —60 до +100	4×11	1,0
КИМ	10 *ом*—10 *Мом*	0,05—0,125	150—200	От —60 до +125	1,8×3,8	0,1—0,2
КОИ	27 *ом*—10 *Мом*	0,25—0,50	250—750	От—60 до +125	2,5×7,0	0,5

Миниатюрные резисторы широко применяются в радиоэлектронных устройствах, в том числе в радиоприемниках, слуховых аппаратах и других.

Б ПРЕЦИЗИОННЫЕ РЕЗИСТОРЫ

К точным (прецизионным и полупрецизионным) малогабаритным резисторам постоянного сопротивления относятся резисторы типов УЛИ, БЛП, МГП, С2 и некоторые другие их разновидности. Для этой группы характерна высокая точность сопротивления и стабильность в работе. Используются они, как правило, в измерительной, счетно-решающей и вычислительной аппаратуре, магазинах сопротивлений и т. п. Малогабаритные резисторы широко применяются в качестве навесных элементов на печатных платах.

Резисторы типа УЛИ (рис. 6, *а*) — углеродистые лакированные измерительные, повышенной стабильности и точности, предназначены для работы в цепях постоянного и переменного тока, а также в импульсных режимах. Они изготовляются семи типоразмеров с допускаемыми отклонениями от номинала ±1, ±2 и ±3%.

Прецизионные резисторы УЛИ могут эксплуатироваться при значительных вибрациях и нагрузках. Их ТКС находится в интервале — $(3—10) \cdot 10^{-4}$ *град*$^{-1}$; интенсивность отказов на один час работы $1{,}7 \cdot 10^{-6}$. В последнее время эти резисторы вытесняются углеродистыми резисторами типа С1-8 и металлопленочными С2-8.

Резисторы типа БЛП (рис. 6, *б*) — бороуглеродистые лакированные прецизионные. Особенностью этих резисторов постоянного сопротивления является их высокая точность и стабильность во времени, что обусловлено наличием бора в токопроводящем элементе. Резисторы применяются в электронной и измерительной аппаратуре в цепях постоянного тока и в импульсных режимах. Они относятся к тонкопленочным поверхностным резисторам, где на керамическое основание нанесена бороуглеродистая пленка. Резисторы имеют отклонение от номинала ±0,5 и ±1%; ТКС = — (1—2)·10^{-4} *град*$^{-1}$.

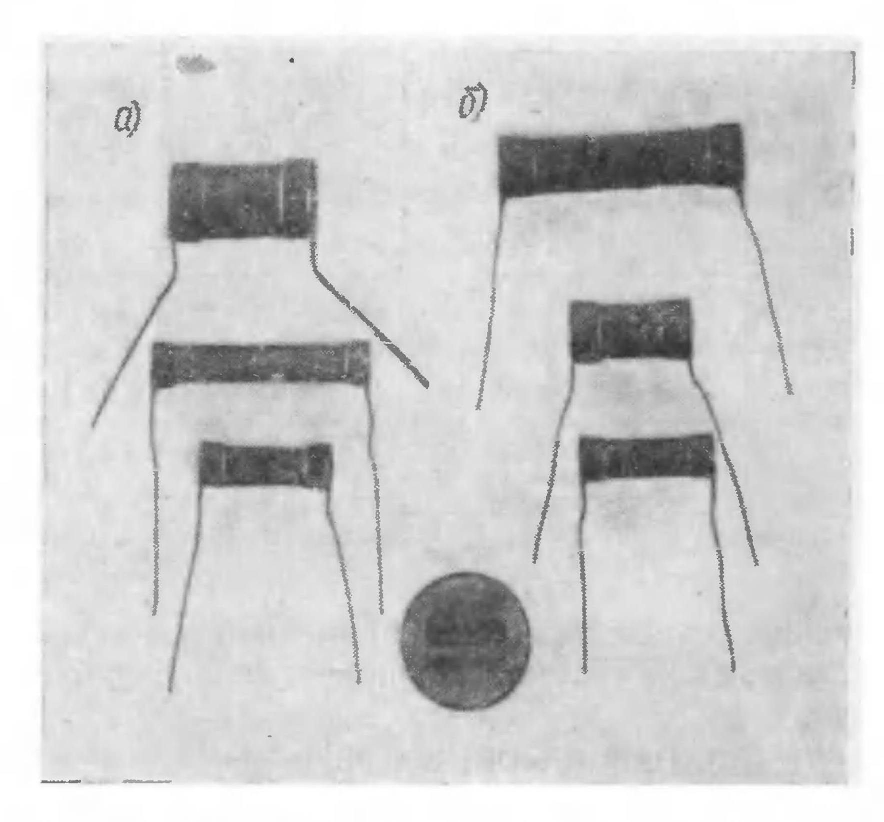


Рис. 6. Внешний вид непроволочных постоянных прецизионных резисторов типа: *а* — УЛИ; *б* — БЛП

Резисторы типа МГП — металлопленочные герметизированные прецизионные — относятся к тонкопленочным резисторам постоянного сопротивления и предназначены для работы в цепях постоянного и переменного токов и в импульсных режимах.

Резисторы этого типа изготовляются в керамическом корпусе, либо опрессованны в пластмассу; отличаются они повышенной стабильностью и допускают отклонение от номинала ±0,5, ±1 и ±2%; ТКС = ± (1—3)·10^{-4} *град*$^{-1}$.

Резисторы типа С2 — постоянные непроволочные прецизионные, изготовляются с металлопленочным токопроводящим слоем трех типов: герметизированные С2-13, лакированные С2-14 и опрессованные С2-15. Они выпускаются с отклонением от номинала ±0,1, ±0,2, ±0,5, ±1,0 и ±2,0%; ТКС = ± (1—6)·10^{-2} *град*$^{-1}$.

Резисторы данного типа применяются в цепях постоянного и переменного тока, а также в импульсном режиме.

Электродвижущая сила шумов резисторов типа С2 номиналов от 10 *ком* до 1 *Мом* — не более 1 *мкв/в*. По величине ТКС они разделяются на пять групп: А, Б, В, Г, Д. При печатном монтаже широко используются резисторы С2-7Е, имеющие номинальные сопротивления 1,8—27 *ом*, мощность рассеяния 0,5—2,0 *вт*; вес не более 1—5*Г*. Прецизионные малогабаритные резисторы постоянного сопротивления характеризуются данными, приведенными в табл. 2.

Таблица 2

Тип резистора	Номинальная величина сопротивления	Номинальная допустимая мощность рассеяния, *вт*	Предельное рабочее напряжение, *в*	Интервал рабочих температур, °С	Габариты, *мм*	Вес, *Г*
УЛИ	1 *ом*—1 *Мом*	0,1—1,0	200—700	От —60 до +125	5,4×16	1,5—8,5
БЛП	1 *ом*—100 *ком*	0,1—1,0	200—300	От —60 до +60	5,5×14,5	1,5—8,5
МГП	100 *ком*—5 *Мом*	0,5	200—400	От —40 до +55	13×30	5,5—7,5
С2	1 *ом*—1 *Мом*	0,25—1,0	250—500	От —60 до +125	6,5—13,5	2—5

К другим постоянным непроволочным резисторам, широко применяемым в качестве навесных элементов для печатных плат относятся малогабаритные композиционные пленочные резисторы типов КВМ и МТ, металлоокисные С2-1 и С2-7Е. Постоянные тепло- и влагостойкие объемные резисторы типа ТВО (рис. 5, *е*) имеют изолированный токопроводящий слой; номинальные мощности рассеяния от 0,125 до 20,0 *вт*; предельные значения номинальных сопротивлений от 3 *ом* до 510 *ком* и от 10 *ом* до 1 *Мом*; допускаемые отклонения от номинала ±5, ±10 и ±20%; вес от 0,2 *Г* и более. Резисторы предназначены для работы в цепях постоянного и переменного токов в непрерывных и импульсных режимах.

6. Непроволочные переменные резисторы

Промышленность выпускает переменные непроволочные резисторы нескольких видов. К их числу относятся композиционные резисторы поверхностного типа СП и СПЕ. Основным элементом этих резисторов является подковообразная пластинка из гетинакса, на которую нанесен токопроводящий слой. Резисторы предназначены для регулирования напряжения в цепях постоянного и переменного тока. Внешний вид некоторых конструкций показан на рис. 7, *а—в*.

Обычно резисторы работают в диапазоне температур от —60 до +125° С. Номинальная величина сопротивления композиционных резисторов выполняется в пределах от 47 *ом* до 4,7 *Мом* с до-

пускаемым отклонением ±10; ±20 и ±30%. Мощность рассеяния составляет 0,25—2 *вт*. Рабочее напряжение 100—500 *в*.

Резисторы типа СП. Переменные композиционные резисторы типа СП предназначены для работы в цепях постоянного и переменного тока в непрерывных и в импульсных режимах. Они изготовляются пяти видов и могут быть одинарными и сдвоенными, регулирующими и подстроечными. Пределы номинальных сопротивлений от 470 *ом* до 5 *Мом*; номинальные мощности рассеяния: 0,25, 0,5 и 1,0 *вт*; предельные рабочие напряжения 350—500 *в*. При вращении подвижного контакта сопротивление изменяется по линейному или нелинейному закону — функциональные характеристики А или Б. Резисторы типа СП имеют сравнительно большие размеры. Диаметр корпуса 29 *мм*, вес 20—60 *Г*.

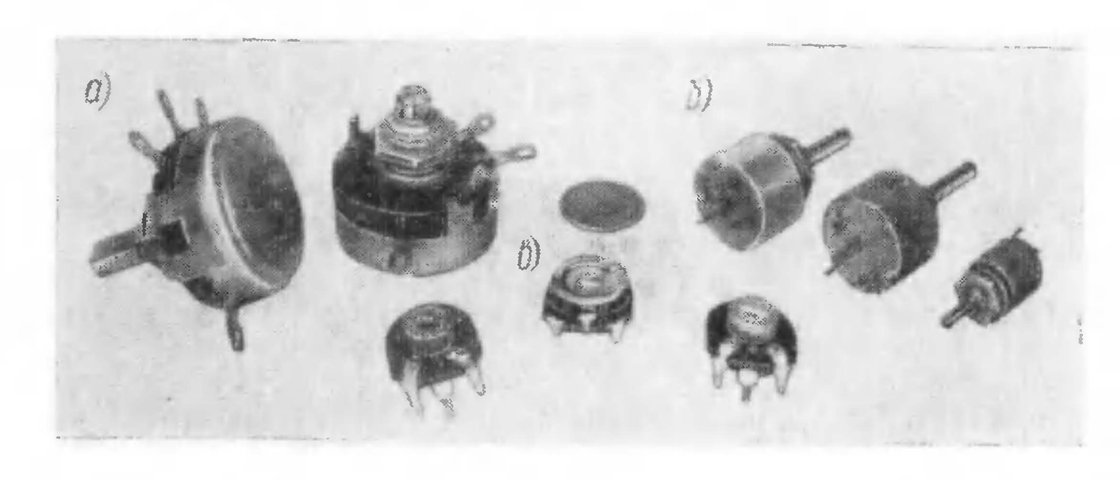


Рис. 7. Внешний вид непроволочных переменных резисторов типа: *а* — СП-1; *б* — СПО; *в* — СП3-1б

Переменные объемные резисторы типа СПО нашли большое применение для работы в цепях постоянного и переменного тока. В резисторах этого типа токопроводящий состав равномерно распределен по всему объему. Они отличаются высокой влагостойкостью, допускают повышенную мощность рассеяния, обладают большой теплостойкостью, виброустойчивостью и повышенной надежностью. Резисторы выпускаются с отклонением от номинального значения сопротивления ±10, ±20 и ±30%; ТКС составляет ± (10—20)$\cdot 10^{-4}$ *град*$^{-1}$. Интенсивность отказов на один час работы — 5,5$\cdot 10^{-6}$. Характер зависимости величины сопротивления от угла поворота оси линейный.

Малогабаритные резисторы СПО выпускаются с номинальными значениями сопротивления от 47 *ом* до 4,7 *Мом*; мощность рассеяния 0,15—2,0 *вт*; предельное рабочее напряжение 160—600 *в*; диаметр корпуса резисторов от 9,6 до 28 *мм*.

Резисторы типа СП3. Малогабаритные поверхностные композиционные резисторы данного типа предназначены для работы в цепях постоянного, переменного и пульсирующего тока в непрерывных и импульсных режимах. Они выпускаются нескольких видов: СП3-1а — неэкранированный резистор, который преимущественно применяется для установки параллельно плате с печатным монтажом; СП3-1б — неэкранированный резистор, предназначенный для установки перпендикулярно к печатной плате. Применяются они в качестве подстроечных в радиовещательных и телевизионных приемниках. СП3-2б — экранированный резистор и СП3-3в — регулирующий неэкранированный дисковый резистор с выключателем преимущественно используются для печатного монтажа в радиовещательной и электронной аппаратуре. К другим конструкциям относятся резисторы СП3-4б и СП3-4г. Резисторы имеют линейную и нелинейную характеристики изменения сопротивления. Диаметр корпуса резисторов 15—22 *мм*; вес находится в пределах 2—13 *Г*.

Переменные композиционные резисторы для печатного монтажа типа СП3-6 и СП3-6А изготовляются с допускаемыми отклонениями

Таблица 3

Тип резистора	Номинальная величина сопротивления	Номинальная допустимая мощность рассеяния, *вт*	Предельное рабочее напряжение, *в*	Интервал рабочих температур, °С
СП3-1а СП3-1б	470 *ом* — 1 *Мом*	0,25	250	От −60 до +70
СП3-2б	4,7 *ком* — 2,2 *Мом*	0,25	200	
СП3-3в	4,7 *ком* — 1 *Мом*	0,025	30	От −60 до +55
СП3-4б	4,7—470 *ком*	0,125	100	От −40 до +70
СП3-4г	4,7—470 *ком*	0,05	100	
СП3-6 СП3-6А	1 *ком* — 1 *Мом*	0,125	160	От −60 до +100
СП3-7	5 — 470 *ком* 1 — 2,5 *Мом*	0,125	200	От −10 до +70

от номинального сопротивления ±10, ±20 и ±30%. Диаметр их корпуса 11,7 *мм*, а вес не более 3—3,8 *Г*.

Переменные резисторы типа СП3-7 состоят из двух переменных резисторов, укрепленных на одной общей оси. Они имеют максимальный диаметр корпуса 26 *мм*.

В табл. 3 приведены основные параметры некоторых переменных непроволочных резисторов.

Резисторы имеют допускаемые отклонения от номинальных сопротивлений до ±20 и ±30%.

7. Проволочные постоянные резисторы

Проволочные постоянные резисторы состоят из изоляционного каркаса, на который намотан провод из высокоомных сплавов таких, как манганин, константан или нихром.

Эти резисторы обладают высокой механической прочностью, повышенной термостойкостью и стабильностью, малыми значениями э. д. с. шумов и большой мощностью рассеяния. Они могут эксплуатироваться в условиях высокой вибро- и ударостойкости и относительной влажности окружающего воздуха до 95—98% при температуре 25° С. К таким резисторам относятся проволочные эмалированные трубчатые влагостойкие резисторы типа ПЭВ, влагостойкие и термостойкие ПЭВТ и др. Они предназначены для работы в цепях постоянного и переменного токов и в импульсных режимах. Резисторы выпускаются с номинальным сопротивлением в пределах 3—56 000 *ом* по II и III классам точности. Допускаемая мощность рассеяния от 3 до 150 *вт*. Проволочные постоянные резисторы этого типа имеют сравнительно большие габариты и вес. На рис. 8 представлены некоторые разновидности проволочных постоянных и переменных резисторов.

Резисторы типа ПТ. В производстве малогабаритной радиоэлектронной аппаратуры, а также в качестве навесных элементов на печатных платах широко используются постоянные проволочные точные резисторы ПТ (рис. 8, *а*), ПТН (нихромовые), ПКВ (константановые влагостойкие), ПТМК (малогабаритные константановые), ПТМН (малогабаритные нихромовые) и др. Они предназначены для работы в цепях постоянного и переменного тока с предельным рабочим напряжением до 400 *в* и допускаемыми отклонениями от номинального значения сопротивления от ±0,25 до ±5%. Гарантийный срок службы резисторов 2000—5000 *ч*.

Резисторы типа С5. Для изготовления микрорезисторов используют микропровод из манганина в стеклянной изоляции диаметром 0,01—0,02 *мм*, обладающий сопротивлением 60—100 *ком/м*; интервал рабочих температур от —60 до +100° С; пробивное напряжение изоляции 1—3 *кв*; допустимая плотность тока резисторов 100—500 *а/мм*^{2}.

Отечественной промышленностью выпускаются постоянные резисторы из микропровода в негерметизированном и герметизированном исполнении типа С5-716, С5-717, С5-726 и С5-727. Эти резисторы предназначены для работы в электрических цепях постоянного и переменного тока и в импульсных режимах при относительной влажности окружающей среды до 95% и условиях повышенной вибрации и ударной тряски в диапазоне частот до 2000 *гц*. Допускаемое отклонение величины сопротивления от номинала ±0,1, ±0,05 и ±0,03%. ТКС составляет ± (0,5—5) $\cdot 10^{-4}$ *град*$^{-1}$. Гарантийный срок службы 10 000 *ч*.

В качестве навесных элементов на печатных платах часто применяются малогабаритные проволочные точные резисторы типа С5-5. Они предназначены для работы в цепях постоянного и переменного тока и выпускаются пяти типоразмеров: диаметр корпуса 6 и 11 *мм*, длина — от 18 до 50 *мм*; вес — от 2,5 до 13 *Г*. Резисторы имеют пределы номинальных значений сопротивлений от 1 ома до 180 *ком*; максимальная мощность рассеяния 10 *вт*. Резисторы могут эксплуатироваться при относительной влажности окружающего воздуха 98%. Гарантийный срок службы 2000 *ч* Для печатных плат применяются также постоянные проволочные теплостойкие резисторы типа С5-22, предназначенные для работы в цепях постоянного и переменного токов. Для резисторов от 1 до 47 *ом* допускаемое отклонение действительной величины сопротивления от номинальной величины ±1%; от 51 *ома* до 1 *Мом* отклонение ±0,1; ±0,2; ±0,5 и ±1%.

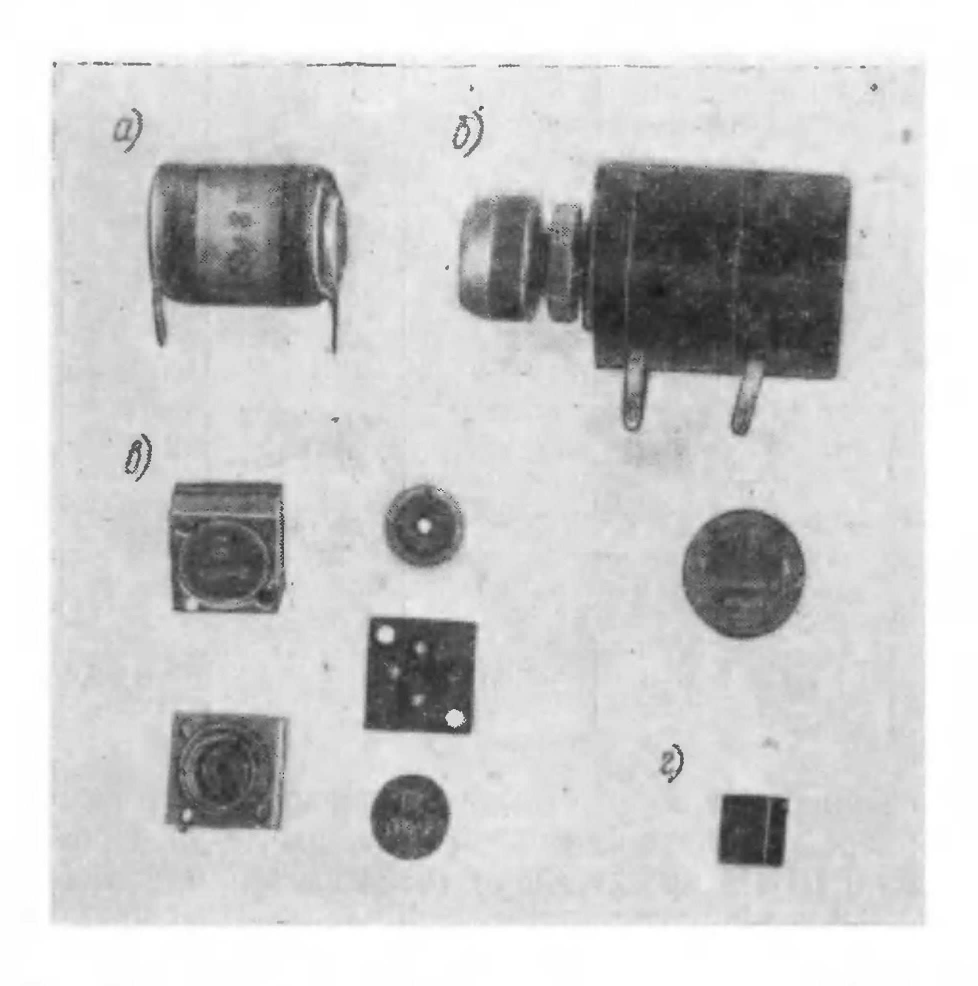


Рис. 8. Внешний вид проволочных постоянных и переменных резисторов типа: *а* — ПТ-1; *б* — ППЗ-47; *в* — СП5-2; *г* — С5-22

В настоящее время разработаны проволочные микрорезисторы типа ПС. Они представляют собой монолитный элемент, полученный спеканием, который помещается в керамический корпус и заливается компаундом на основе эпоксидной смолы ЭД-5. Выводы из никелевой фольги толщиной 0,05 *мм*. Размеры: 2,0×2,2×1,0 *мм*; вес около 0,03*Г*.

Основные технические данные малогабаритных проволочных постоянных резисторов приведены в табл. 4.

Таблица 4

Тип резистора	Номинальная величина сопротивления	Номинальная допустимая мощность рассеяния, *вт*	Интервал рабочих температур, °С	Габариты, *мм*	Вес, *Г*
ПКВ	51 *ом* — 270 *ком*	0,5—1,0	От −60 до +200	12 × 16	7—13
ПТМК	200 *ом* — 3 *ком*	0,5	От −60 до +150	9 × 22	3,5—4,0
ПТМН	1 *ом* — 300 *ком*	0,5—1,0	От −60 до +125	7 × 14	1,3—2,5
С5-716	10 *ком* — 5 *Мом*	0,5	От −60 до +155	4,5 × 15	1,2
С5-717	10 *ком* — 1,6 *Мом*	0,25		3,5 × 10	0,8
С5-726	10 *ком* — 5 *Мом*	0,5		6 × 25	2,3
С5-727	10 *ком* — 1,6 *Мом*	0,25		6 × 16	1,5
С5-5	1 *ом* — 13 *Ком*	1,0		6 × 18	2,5
С5-22	1 *ом* — 1 *Мом*	0,125	От −60 до +125	8×8×3,6	1,5

Промышленность выпускает также малогабаритные проволочные резисторы переменного сопротивления (см. рис. 8, *б*). Проволочные резисторы типа ППЗ представляют собой сдвоенный потенциометр с номинальной величиной сопротивления от 50 *ом* до 20 *ком* с допускаемым отклонением по I и II классам точности.

На рис. 8, *в* представлен миниатюрный переменный проволочный резистор типа СП5-2. Такие резисторы предназначены для печатного монтажа и выпускаются с номинальными величинами сопротивлений от 100 до 47 000 *ом* и допускаемыми отклонениями по I классу точности. Мощность рассеяния 1 *вт*. Они работают в цепях постоянного или переменного тока с напряжением до 300 *в*. Их вес 2,5—3,5 *Г*. Для навесного монтажа применяются также резисторы типа СП5-3.

8. Полупроводниковые резисторы

Терморезисторы или, как их часто называют, термисторы нашли широкое применение для измерения и регулирования температуры, при температурной стабилизации в схемах приемной радиотехнической и телевизионной аппаратуры, в устройствах дистанционного управления, электроизмерительных и других приборах.

Принцип действия терморезисторов основан на свойстве полупроводников изменять свое сопротивление с температурой по закону

$$R_t = R_0(1 - \beta\Delta t),$$

где R_t — сопротивление нагретого резистора; R_0 — сопротивление резистора при температуре +20° С; β — температурный коэффициент сопротивления; Δt — разность температур.

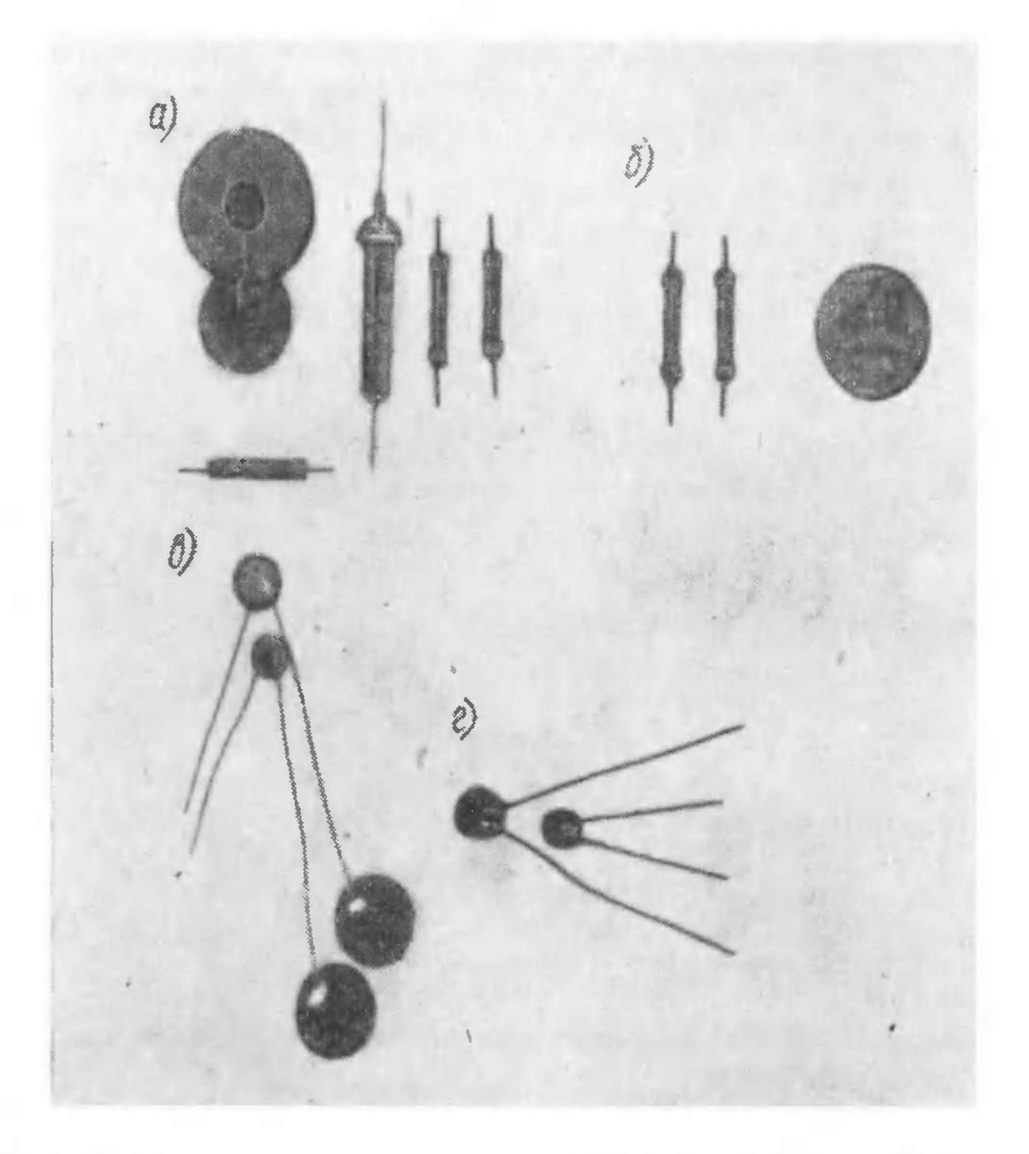


Рис. 9. Терморезисторы типа: *а* — ММТ; *б* — КМТ; *в* — СТЗ-17; *г* — СТЗ-19

Это соотношение верно лишь при небольших значениях Δt и характеризует линейную зависимость величины сопротивления. Практически же, изменение сопротивления R_t от температуры имеет нелинейный характер и выражается сложной формулой. Поэтому часто пользуются для определения R_t характеристиками терморезисторов.

Конструкция терморезисторов обычно зависит от их назначения и условий эксплуатации. Они могут быть выполнены в виде нити, стержня, шайбы, бусинки, диска и пр. Типовые конструкции широко распространенных медно-марганцевых резисторов типов ММТ и

кобальто-марганцевых терморезисторов КМТ представлены на рис. 9, *а*, *б*.

Номинальная величина сопротивления терморезисторов типа ММТ находится в пределах 1 *ом* — 220 *ком*; допускаемое отклонение по II и III классу точности. Номинальная мощность рассеяния 0,6—0,7 *вт*. Наименьшие размеры имеют резисторы ММТ-6. В качестве навесных элементов для печатных плат часто применяются резисторы ММТ-1 и ММТ-4. Они имеют диаметр корпуса 2,8 и 6,5 *мм*, а вес 0,6 и 2,5 *Г*.

Пределы номинальной величины сопротивления терморезисторов типа КМТ: 100 *ом* — 1 *Мом*; допускаемое отклонение от номинала соответствует II и III классам; номинальная мощность рассеяния 0,6—1,0 *вт*.

Резисторы типа КМТ-1 и КМТ-4 широко используются в качестве навесных радиодеталей для печатных плат. Для терморезисторов ММТ и КМТ рабочая температура находится в интервале от —60 до +125° С. Гарантийный срок службы этих резисторов 5000 *ч*.

Терморезисторы типа СТ (рис. 9, *в*, *г*) — оксидно-полупроводниковые терморезисторы — выполняются в виде стержней, дисков и бусинок типов СТ1, СТ2, СТ3 и СТ4. Предназначены для эксплуатации в интервале рабочих температур от —100 до +300° С.

Миниатюрные терморезисторы типа СТ1-17, СТ3-17 и СТ3-23 изготовляют из окислов меди, кобальта и марганца в виде пластин прямоугольной или другой формы и используют для работы в цепях постоянного и переменного токов; применяют в малогабаритной радиоэлектронной аппаратуре.

Таблица 5

Тип терморезистора	Номинальная величина сопротивления	Допустимая мощность рассеяния, *мвт*		Интервал рабочих температур, °С
		при $t=20°$ С	при максимальной рабочей температуре	
СТ1-17	330 *ом* - 22 *ком*	0,5	0,2	От —60 до +100
СТ3-17	33 — 330 *ом*	0,8	0,2	От —60 до +100
СТ3-23	2,2 — 4,7 *ом*	10	2	От —60 до +125

Основные технические данные миниатюрных терморезисторов приведены в табл. 5.

Терморезисторы приведенных типов изготовляются по II и III классам точности; ТКС составляет — $(2{,}5—5)\cdot10^{-2}$ *град*$^{-1}$; гарантийный срок службы 3000 *ч*.

9. Печатные резисторы

Печатные резисторы постоянного сопротивления находят применение в радиоэлектронной аппаратуре с печатным монтажом. Основными составляющими компонентами токопроводящего элемента резисторов являются сажа и графит для углеродистых резисторов, металлы и их сплавы — для тонкопленочных металлизированных резисторов. Эти компоненты обычно наносятся на плату методом трафаретной печати.

Непроводящими компонентами суспензий для лакосажевых резисторов являются: инертные порошкообразные наполнители, составляющие 40—50% всего объема резистора, причем в качестве таких наполнителей используют кварц, тальк, сернокислый барий, двуокись титана и другие материалы; связывающим материалом обычно служит синтетическая полимеризующая фенольная или алкидная смолы.

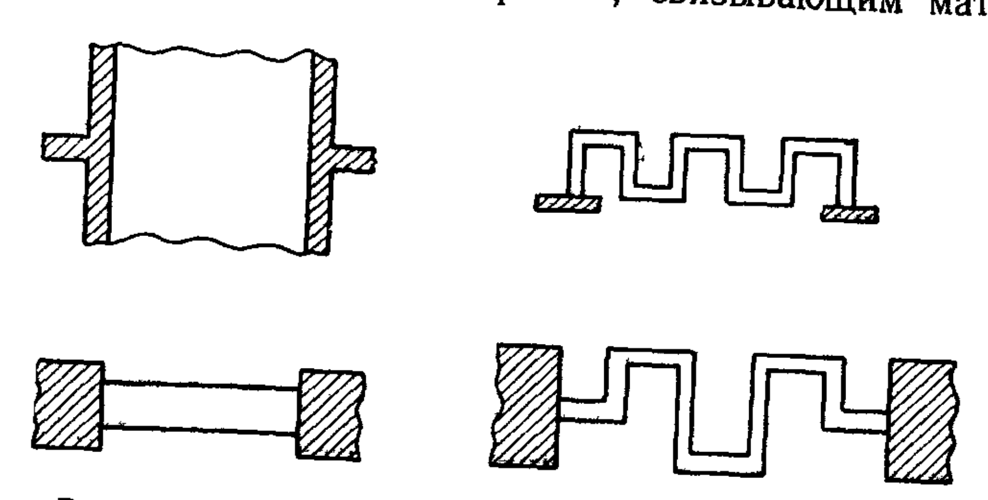


Рис. 10. Конструктивные формы печатных резисторов.

Суспензию получают тщательным размолом и смешиванием токопроводящего компонента, связывающего вещества и наполнителя в шаровых или вибрационных мельницах. Растворителями суспензии могут служить спирт, толуол, ксилол и др.

На рис. 10 схематически показаны печатные резисторы, выполненные методами печатных или пленочных схем. Величина сопротивления резистора зависит от длины, сечения и состава токопроводящего элемента. Если размеры платы не позволяют изготовить токопроводящий элемент необходимой длины, то его можно располагать не по прямой, а по ломаной линии. Печатные резисторы можно подгонять под требуемое номинальное значение сопротивления нанесением дополнительного токопроводящего слоя или частичным механическим удалением его. Отклонение сопротивления от номинала может находиться в пределах ±20%.

Важнейшим этапом производства печатных резисторов является полимеризация токопроводящей пленки. Этот процесс осуществляется в результате сушки наносимых слоев и в последующей термической обработке нанесенной суспензии при температуре

150—250° С в течение 1,5—2 *ч*. Технологический процесс изготовления печатных резисторов завершается подгонкой величины сопротивления, контактированием и нанесением защитного покрытия.

Тонкопленочные резисторы могут быть изготовлены путем напыления жидкого металла через трафарет, электрическим осаждением, испарением в вакууме и некоторыми другими способами. Для этих целей применяются различные металлы и их сплавы. Резисторы, получаемые напылением, широко используются в производстве миниатюрных радиоэлектронных устройств и будут рассмотрены ниже.

10. Микромодульные резисторы

К наиболее распространенным микромодульным резисторам постоянного сопротивления следует отнести микрорезисторы типа СКПМ, С3-4, СКНМ, С3-3, ССНМ и С2-12.

Они предназначены для работы в цепях постоянного и переменного тока, а также в импульсных режимах в составе микромодулей; резисторы эксплуатируются в диапазоне частот от 10 до 5000 *гц*.

В качестве оснований для микрорезисторов используются микроплаты. Микрорезисторы изготовляются по I, II и III классам точности.

Резисторы типа СКПМ и С3-4. (рис. 11, *а*). Композиционный печатный микромодульный лакосажевый резистор представляет собой микроплату, на которую нанесена токопроводящая паста (суспензия).

Нанесение токопроводящего материала в виде квадрата или полоски производится под давлением в 3—4 слоя с последующей термической обработкой. С целью защиты резисторов от механических повреждений и загрязнений на токопроводящий элемент наносится лак ЭП-096.

Выводы резисторов подключаются к одной из следующих пар пазов микроплаты: 1—4, 1—5 или 1—8. На поверхности микроплаты, противоположной расположению токопроводящего элемента, указаны основные характеристики резистора. ТКС резисторов СКПМ и С3-4 находится в пределах от $-10 \cdot 10^{-4}$ до $\pm 12 \cdot 10^{-4}$ *град*$^{-1}$.

Пластинчатые лакосажевые резисторы типа С3-4 имеют номинальную величину сопротивления от 10 до 3,3 *Мом* с допускаемыми отклонениями по I, II и III классам точности; номинальная мощность рассеяния 0,25 *вт* при рабочем напряжении 120 *в*; интервал рабочих температур от —60 до +125° С; габариты 0,35×10 *мм*.

Резисторы типа СКНМ и С3-3 (рис. 11, *б*) — композиционные ниточные микромодульные резисторы, у которых токопроводящим элементом является нить из стекловолокна диаметром 0,05—0,2 *мм* и длиной 3 и 6 *мм*. На нить нанесена лакосажевая пленка. Концы ее покрываются контактолом и используются в качестве выводов. На одной микроплате могут быть смонтированы до шести резисторов, которые подключаются к соответствующим пазам микроплаты. На рис. 11, *б* представлена микроплата, на которой с помощью контактола установлены два резистора.

Резисторы указанных типов применяются в герметизированных миниатюрных радиоэлектронных устройствах. ТКС=$\pm 10 \cdot 10^{-4}$ *град*$^{-1}$. Ниточные лакосажевые резисторы С3-3 имеют габариты (0,1—0,45)×
×3,6 *мм*.

Резисторы типа ССНМ и С2-12 (рис. 11, *в*) — станнатные ниточные микромодульные, выполняются в виде тонких навесных ни-

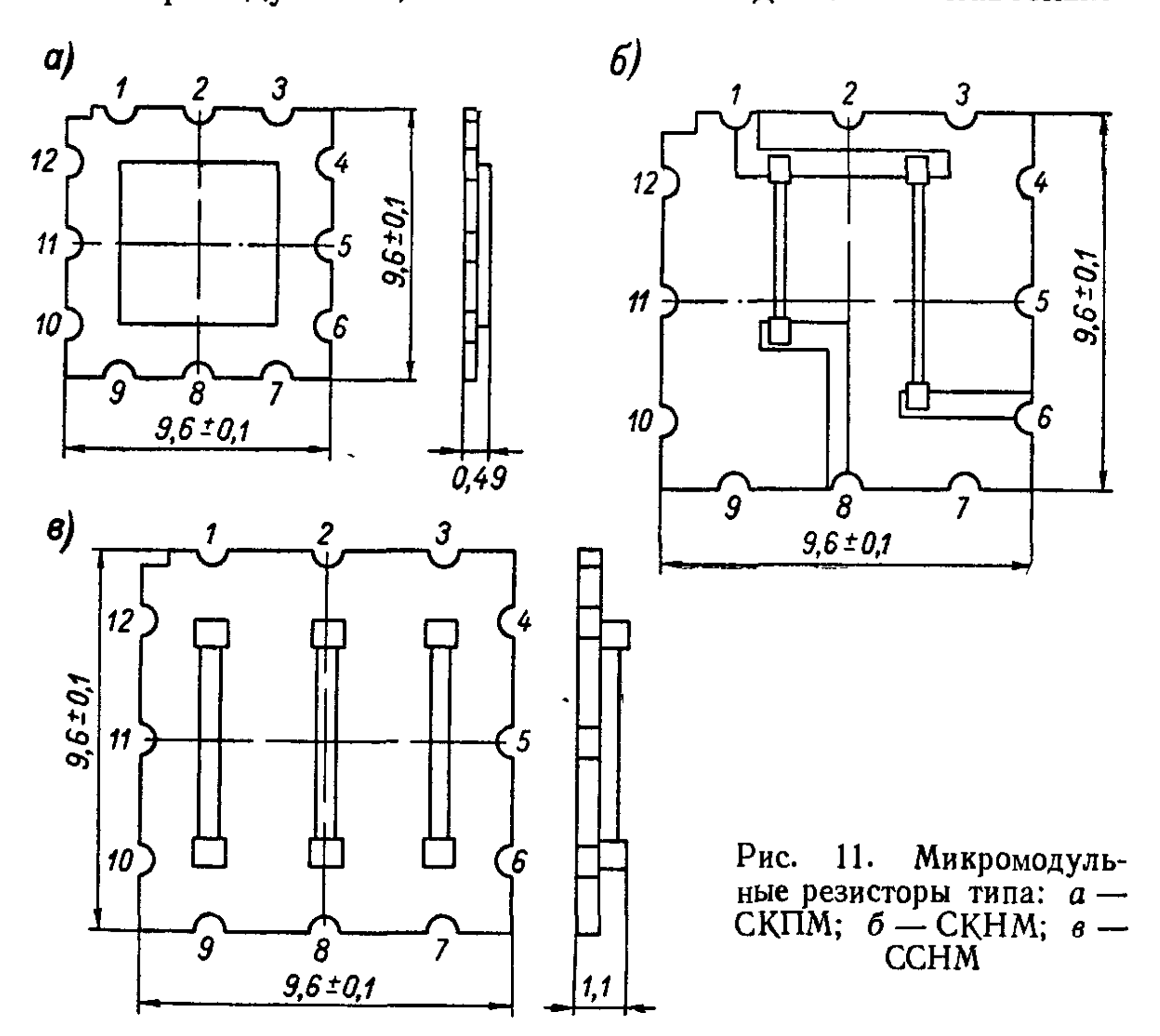


Рис. 11. Микромодульные резисторы типа: *а* — СКПМ; *б* — СКНМ; *в* — ССНМ

тей, которые приклеиваются к микроплатам. Здесь представлена микроплата с установленными на ней тремя резисторами.

Станнатные ниточные микромодульные резисторы представляют собой стеклянную нить, на которую наносится станнатная пленка из токопроводящего материала. Обычно для этой цели применяют раствор требуемой номинальной величины сопротивления, состоящий из безводного хлорного олова и пятихлористой сурьмы. Электрическими контактами является наносимый слой серебряной пасты. ТКС резисторов $\pm 10 \cdot 10^{-4}$ *град*$^{-1}$.

Ниточные станнатные резисторы типа С2-12 конструктивно выполнены так же как и резисторы ССНМ. Они изготовляются с номинальными величинами сопротивления от 5,1—56 *ом* до 0,002—0,005 *Мом*; номинальная мощность рассеяния 0,05, 0,25 и 0,125 *вт*; рабочие напряжения от 30 до 80 *в*; интервал рабочих температур от —60 до +125° С; габариты: 0,35×(3; 6) *мм*.

Основные данные микромодульных резисторов приведены в табл. 6.

Таблица 6

Тип резистора	Номинальная величина сопротивления	Номинальная допустимая мощность рассеяния, *вт*	Предельное рабочее напряжение, *в*	Интервал рабочих температур, °С
СКПМ	10 *ом* — 3,3 *Мом*	0,25	120; 160	От —60 до +125
С3-3	100 *ом* — 3,3 *Мом*	0,025; 0,125	30; 50; 80; 160	
СКНМ	100 *ом* — 3,3 *Мом*	0,12	80, 160	
ССНМ	10 *ом* — 5,1 *ком*	0,25; 0,12	120; 160	

Вес микромодульных резисторов не более 0,2 *Г*.

Наряду с указанными типами резисторов промышленность выпускает композиционные таблеточные резисторы типа С3-2а и С3-2б в виде плоских дисков диаметром 1,7 и 2,7 *мм*; высотой 1,5 *мм*. Номинальные величины сопротивления этих резисторов от 10 *ом* до 1 *Мом*; номинальная мощность рассеяния 0,05 *вт*; рабочее напряжение 30 *в*. Они рассчитаны для работы в интервале рабочих температур от —60 до +125° С.

Терморезисторы типа СТ. В микромодульном исполнении применяются также медно-кобальто-марганцевые терморезисторы. Терморезисторы типа СТ3-26 изготовляются с номинальными сопротивлениями от 0,1 до 3,3 *ком*; терморезисторы типа СТ2-26 с номинальными сопротивлениями от 4 до 100 *ком*. Мощность рассеяния терморезисторов от 10 до 25 *мвт*. Интервал рабочих температур от —60 до +125° С.

Переменные резисторы типа СП5-6. В качестве микрорезисторов переменного сопротивления в микромодульном исполнении применяются резисторы СП5-6. Резисторы этого типа выпускаются с номинальными величинами сопротивлений от 0,1 до 100 *ком*; с допускаемыми отклонениями по II классу; номинальная мощность рассеяния 0,5 *вт*; интервал рабочих температур от —60 до +70° С.

ГЛАВА ТРЕТЬЯ

КОНДЕНСАТОРЫ

11. Общие сведения

В простейшем виде конденсатор состоит из двух металлических электродов (обкладок), разделенных между собой диэлектриком.

$$C = q/U,$$

Емкость конденсатора *ф*; q — количество электричества, *к*; U — напряжение на обкладках конденсатора, *в*.

Для плоской конструкции электродов конденсатора

$$C = 0{,}0885\,\frac{\varepsilon S}{d},$$

где C — емкость конденсатора, *пф*; ε — диэлектрическая проницаемость диэлектрика (для воздуха $\varepsilon = 1$); S — площадь обкладки, *см*²; d — расстояние между обкладками конденсатора, *см*.

Таким образом, величина емкости конденсатора зависит от площади электродов, расстояния между ними и свойств диэлектрика.

В технике применяются следующие величины емкости: 1 фарада (*ф*) = 10^6 микрофарад (*мкф*) = 10^{12} пикофарад (*пф*).

Электрические конденсаторы применяются в качестве разделительных, блокировочных и как элементы колебательных контуров и сглаживающих фильтров. Многообразие выполняемых функций привело к созданию различных типов конденсаторов.

Рассмотрим основные технические характеристики конденсаторов:

Номинальная емкость и допускаемое отклонение от номинала. Величина номинальной емкости для стандартизованных электрических конденсаторов, кроме электролитических, соответствует шкале ГОСТ 2519—67. Для электролитических конденсаторов принята шкала номинальных величин емкостей: 0,5; 1; 2; 5; 10; 20; 30; 50; 100; 200; 300; 500; 1000; 2000 и 5000 *мкф*.

Классы точности и соответствующие им допускаемые отклонения от номинала предусмотрены ГОСТ 9661—61.

Наибольшее распространение в радиотехнической аппаратуре получили конденсаторы II класса точности, имеющие отклонение от номинала ±10%. Однако для блокировочных, разделительных и фильтрующих конденсаторов характерно применение III класса точности — отклонеие от номинала ±20%. Конденсаторы I класса точности с отклонением от номинала ±5% обычно применяют в колебательных контурах высокочастотных резонансных цепей радиоприемников и телевизоров, а также в измерительной аппаратуре. Конденсаторы с допуском ±2% относят к нулевому классу точности.

Номинальное рабочее, испытательное и пробивное напряжения. Номинальным рабочим напряжением называют наибольшее напряжение (чаще всего напряжение постоянного тока) между обкладками конденсатора, при котором он надежно работает в течение гарантированного срока при соответствующих температурах, не изменяя своих характеристик. Допустимое напряжение переменного тока на конденсаторе меньше напряжения постоянного тока в 1,5—2 раза. Если конденсатор работает в цепи пульсирующего тока, то сумма величин напряжений постоянного и переменного токов (амплитудное значение) не должна превышать допустимого рабочего напряжения.

При испытаниях диэлектрика конденсатора на пробой подается напряжение, которое в несколько раз больше номинального. Напряжение, при котором происходит разрушение (пробой) диэлектрика конденсатора, носит название пробивного напряжения Это напряжение больше испытательного.

Сопротивление изоляции. Часто это сопротивление также называют сопротивлением утечки. Величина его характеризует качество изоляции и ток утечки: чем больше сопротивление изоляции, тем меньше ток утечки.

Сопротивление изоляции и ток утечки меняются с изменением температуры и влажности окружающей среды: чем больше влажность, тем ниже сопротивление изоляции и больше ток утечки. В герметизированных конденсаторах сопротивление изоляции повышается и, как правило, мало зависит от температуры и влажности окружающей среды.

Тангенс угла диэлектрических потерь. Во всех диэлектриках, находящихся в электрическом поле конденсатора, возникают необратимые потери. Энергия потерь в диэлектрике приводит к его нагреванию. Величина потерь пропорциональна $\operatorname{tg}\delta$, где δ — угол диэлектрических потерь. Чем выше значение $\operatorname{tg}\delta$, тем ниже качество конденсатора. Часто для оценки качества конденсатора пользуются понятием добротности $Q_c = 1/\operatorname{tg}\delta$.

Потери в конденсаторах возрастают при повышении температуры и влажности окружающей среды.

Температурный коэффициент емкости ТКЕ. Температурным коэффициентом емкости называется относительное изменение емкости конденсатора при изменении температуры окружающей среды на 1° С.

$$\text{ТКЕ} = \frac{\Delta C}{C_0 \Delta t} = \frac{C_1 - C_0}{C_0 (t_1 - t_0)},$$

где C_0 — емкость конденсатора при нормальной температуре t_0; C_1 — емкость конденсатора при измененной температуре t_1.
ТКЕ может быть положительным и отрицательным.

По величине ТКЕ конденсаторы объединяются в группы, которым присваиваются соответствующий буквенный индекс и цвет окраски корпуса.

Реактивная мощность. При работе конденсатора в цепях с переменным напряжением, во избежание перегрева и выхода его из строя, следует учитывать допустимую реактивную мощность (Q, *вар*), которая может быть определена по формуле

$$Q = UI \sin\varphi,$$

где U — напряжение, приложенное к конденсатору, *в*;
I — ток, протекающий через конденсатор, *а*;
φ — угол сдвига фаз между напряжением и током. Выражая Q через частоту тока f и емкость конденсатора C, можно написать:

$$Q = 2\pi f C U^2 \sin\varphi,$$

Собственная индуктивность. Наличие у конденсаторов собственной индуктивности L_c ограничивает их применение в цепях переменного тока, так как это приводит к появлению резонанса.

Собственная индуктивность конденсатора зависит от его выводов и обкладок. Чем тоньше и длиннее выводные провода и больше обкладки, тем больше L_c. Эта индуктивность включена в схему последовательно с емкостью конденсатора.

Характер и общее сопротивление конденсатора, включенного в цепь переменного тока, определится отношением

$$X = \omega L_c - \frac{1}{\omega C},$$

где $\omega = 2\pi f$, а f — частота тока в цепи.

Стабильность емкости. Стабильность определяет изменения основных характеристик конденсатора под влиянием температуры, влажности и давления окружающей среды, а также в зависимости от времени, механического воздействия и т. д. Стабильность конденсаторов во многом определяется их конструкцией и технологическим процессом изготовления.

По конструктивному оформлению, применяемые в радиотехнической аппаратуре конденсаторы можно объединить в следующие группы: постоянные, переменные и полупеременные-подстроечные.

Конструкция конденсаторов постоянной емкости не предусматривает возможности изменения величины емкости в процессе эксплуатации.

Конденсаторы переменной емкости предусматривают возможность плавного изменения емкости в широких пределах заданного диапазона в процессе настройки, регулировки и эксплуатации аппаратуры.

Подстроечные конденсаторы предназначены для изменения величины емкости в небольших пределах только в процессе настройки и регулировки аппаратуры, после чего величина их емкости фиксируется.

Выбор конденсаторов производится в соответствии с принятой электрической схемой, с учетом технических характеристик и условий работы конденсаторов в данной аппаратуре.

В радиотехнической и измерительной аппаратуре наибольшее распространение получили конденсаторы постоянной емкости. Обозначения их предусмотрены ГОСТ 13453—68.

12. Конденсаторы постоянной емкости

Конденсаторы постоянной емкости классифицируются не только по своим электрическим характеристикам и режиму работы, но и по материалу диэлектрика, назначению и конструктивному оформлению. Размеры конденсатора зависят, при заданной величине

емкости и рабочего напряжения, от диэлектрической проницаемости диэлектрика, его электрической прочности и конструкции.

В миниатюрной радиотехнической аппаратуре применяются различные конденсаторы, которые могут быть предназначены для работы при напряжении постоянного, переменного и пульсирующего тока на различных частотах.

П о р о д у д и э л е к т р и к а конденсаторы классифицируются на следующие: с бумажным диэлектриком; с диэлектриком из пленок; с диэлектриком из слюды; из керамики; из стекла и стеклоэмали; с применением электролитов; с воздушным диэлектриком.

В соответствии с наименованием диэлектрика конденсаторы называются бумажными, пленочными, слюдяными, керамическими, стеклянными, электролитическими, воздушными и др.

Часто конденсаторам присваивается наименование, характеризующее их н а з н а ч е н и е: контурный, фильтрующий, блокировочный и т. д.

П о к о н с т р у к т и в н о - т е х н о л о г и ч е с к о м у п р и з н а к у конденсаторы могут быть дисковые, трубчатые, опрессованные, герметизированные и пр.

Маркировка конденсаторов. На корпусах конденсаторов обычно указываются их основные характеристики — тип, номинальная емкость и допускаемое отклонение от номинала, номинальное рабочее напряжение, марка завода-изготовителя, месяц и год выпуска. Помимо этого керамические, слюдяные и другие конденсаторы имеют условное обозначение группы по ТКЕ. Маркировка производится буквами, цифрами и цветным кодом.

На малогабаритных и миниатюрных конденсаторах основные характеристики не могут быть обозначены с помощью букв и цифр. В этих случаях применяется только цветная маркировка — окраска конденсатора в определенный цвет, нанесение точек, полосок и т. п. Размеры и форма знаков маркировки выбираются в зависимости от размеров и формы конденсатора.

Конденсаторам постоянной емкости согласно ГОСТ 13453—68 присваивается число, которое обозначает их разновидности. Например, керамический конденсатор постоянной емкости на номинальное напряжение 400 *в* с порядковым номером *1* обозначается К10-1.

А. БУМАЖНЫЕ И МЕТАЛЛОБУМАЖНЫЕ КОНДЕНСАТОРЫ

В радиотехнической аппаратуре большое распространение получили бумажные и металлобумажные конденсаторы, которые широко применяются ввиду простоты конструкции и возможности получения номинальной емкости в большом диапазоне. Их можно использовать в цепях постоянного, переменного и пульсирующего тока. На рис. 12,*а* — *г* показан внешний вид некоторых типов бумажных и металлобумажных конденсаторов.

В бумажных конденсаторах диэлектриком является конденсаторная бумага, а в качестве электродов применяется лента из алю-

миниевой фольги. Свернутая секция из бумаги и фольги помещается в корпус.

Бумажные конденсаторы выпускаются в разнообразном конструктивном оформлении. Они разделяются в зависимости от материала, формы и размера корпуса, количества и способа изоляции выводов, степени герметизации и т. д. Номинальная емкость конденсаторов колеблется в широких пределах, достигая 100 *мкф*, а рабочие напряжения — до 1500 *в*. Малогабаритными являются конден-

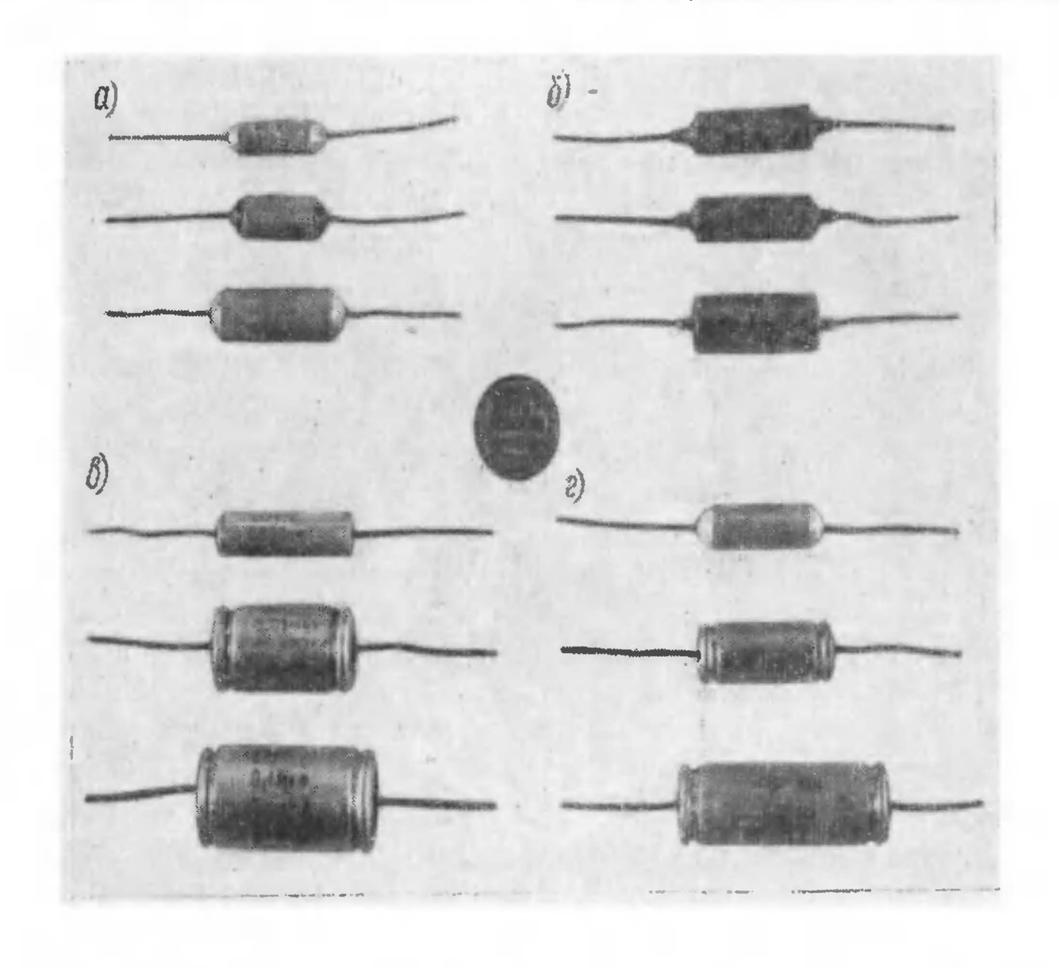


Рис. 12. Внешний вид бумажных и металлобумажных конденсаторов типа: *а* — БМ; *б* — К40П-2; *в* — БМТ; *г* — МБМ

саторы типа БМ, БГМ, БМТ и другие. Новым типом бумажного конденсатора является герметизированная конструкция К40У-9.

Разновидностью бумажных конденсаторов являются металлобумажные малогабаритные конденсаторы типа МБМ, К42У, МБМЦ. Для печатного монтажа — конденсаторы КМБП.

Металлобумажные конденсаторы имеют повышенную надежность в работе, а размеры их значительно меньше бумажных. Наряду с этим, они обладают меньшим сопротивлением изоляции и большими потерями. Конденсаторы могут работать в сложных атмосферных условиях при сильных вибрациях и ударных нагрузках.

Эти основные отличительные особенности характерны также и для малогабаритных конденсаторов этого вида. Более подробная их характеристика дана ниже.

Конденсаторы типа БМ. Бумажные малогабаритные конденсаторы выполняются в нескольких вариантах. Номинальное рабочее напряжение зависит от величины емкости. Конденсаторы с номинальной емкостью 470—2200 *пф* выпускаются на рабочее напряжение постоянного тока 300 *в*; емкостью 3300 *пф* и 0,022 *мкф* — рабочее напряжение 200 *в*; емкостью 0,033—0,047 *мкф* — рабочее напряжение 150 *в* Конденсаторы типа БМ-2, изготовленные по II и III классам точности, используются в качестве навесных радиодеталей для печатного монтажа.

Разновидностью конденсаторов БМ являются малогабаритные опрессованные конденсаторы К40П-1, изготовляемые на напряжение постоянного тока 400 и 600 *в*, номинальной емкостью до 0,25 *мкф* по I, II и III классам точности. Амплитудное значение переменного тока частотой 50 *гц* не должно превышать номинального напряжения 200 и 250 *в*. Конденсаторы предназначены для работы в низкочастотных цепях переменного тока и в импульсных режимах.

Конденсаторы типа К40П-2. Бумажные герметизированные малогабаритные конденсаторы (БГМ) по своей конструкции делятся на два вида: с одним или с двумя выводами и имеют несколько увеличенные размеры.

Конденсаторы выпускаются на номинальные емкости: 1000, 1500, 2200, 3300, 4700, 6800 *пф*; 0,01; 0,015; 0,022; 0,033 и 0,047 *мкф* по I, II и III классам точности. Они предназначены для работы на номинальное напряжение постоянного тока 250 и 400 *в*.

Конденсаторы типа БМТ. Бумажные герметизированные малогабаритные термостойкие конденсаторы изготовляются в нескольких конструктивных вариантах по I, II и III классам точности, емкостью от 470 *пф* до 0,22 *мкф*. БМТ используются на номинальные рабочие напряжения постоянного тока 400 и 600 *в*.

Конденсаторы типа МБМ. Металлобумажные малогабаритные конденсаторы рассчитаны на рабочие напряжения 160 *в* и от 250 до 1 500 *в*. Изготовляются по II и III классам точности.

Конденсаторы типа К42У-2. Металлобумажные конденсаторы этого типа предназначены для работы в цепях постоянного, переменного и пульсирующего тока на номинальные рабочие напряжения от 160 до 1600 *в*. Выпускаются II и III класса точности.

Конденсаторы типа МБМЦ. Металлобумажные малогабаритные цилиндрические конденсаторы выпускаются в антимагнитных корпусах и предназначены для работы в цепях постоянного и переменного тока. Они рассчитаны на номинальные рабочие напряжения 200 и 400 *в*. Выпускаются II и III класса точности.

Основные технические характеристики и условия эксплуатации бумажных и металлобумажных конденсаторов приведены в табл. 7.

В малогабаритной радиоэлектронной аппаратуре с печатным монтажом в качестве навесных элементов используются бумажные конденсаторы типов БМ, БМТ и К40П-2а, а также металлобумажные малогабаритные конденсаторы МБМ.

Таблица 7

Тип конденсатора	Параметры конденсаторов					Условия эксплуатации		
	номинальная величина емкости	номинальное рабочее напряжение, *в*	размеры корпуса, *мм*: диаметр	размеры корпуса, *мм*: длина	вес, *Г*	интервал рабочих температур, °С	относительная влажность воздуха, %	гарантийный срок службы, *ч*
БМ	470 *пф* — 0,047 *мкф*	100—300	5,0—7,5	17—21	0,9—2,0	От −60 до +70	98	5000
К40П-1	470 *пф* — 0,1 *мкф*	400—600	7,0—16,8	25—30	2,5—16,0	От −60 до +70	85	2000—5000
К40П-2	1000 *пф* — 0,047 *мкф*	250—400	6—11	23—29	2,5—6,0	От −60 до +85	98	5000—20 000
БМТ	470 *пф* — 0,22 *мкф*	400—600	6—16	24—45	3—20	От −60 до +100	98	1000
К42У-2	0,047—1,0 *мкф*	160—1600	6—18	24—50	3,5—36,0	От −60 до +100	98	5000
КМБП	0,05—1,0 *мкф*	30	(10—22) × (11—22) × × (11—22)		3—10	От −60 до +70	98	5000
МБМЦ	0,25 — 1,0 *мкф*	200—400	8,5—18,0	36—60	8—35	От −60 до −70	80	2000
МБМ	0,005—1,0 *мкф*	160—1500	6—20	18—31	1—25	От −60 до +100	98	5000

Б ПЛЕНОЧНЫЕ И МЕТАЛЛОПЛЕНОЧНЫЕ КОНДЕНСАТОРЫ

Они находят применение в низкочастотных цепях, в каскадах высоких и сверхвысоких частот широковещательной радиотехнической и измерительной аппаратуры.

Для пленочных и металлопленочных конденсаторов большое распространение получили диэлектрики в виде тонких пленок из полистирола, стирофлекса, фторопласта и других материалов. В качестве обкладок применяется тонкий слой металла, наносимый на диэлектрик, или алюминиевая фольга.

Промышленность выпускает различные по конструкции и величине номинальной емкости конденсаторы, предназначенные для работы в цепях постоянного, переменного и пульсирующего тока с рабочим напряжением от 60 *в* до 20 *кв*.

В низкочастотных и высокочастотных цепях радиотехнической аппаратуры широко используются малогабаритные конденсаторы с диэлектриком из полистирола. В цепях, где рабочее напряжение не превышает 60 *в* постоянного тока, применяются полистирольные пленочные конденсаторы ПМ, которые в конструктивном отношении сходны с бумажными. Для работы в высоковольтных цепях применяются пленочные открытые конденсаторы ПО. Пленочные стирофлексные открытые конденсаторы ПСО предназначены для работы в радиовещательной аппаратуре. Металлопленочные полистирольные герметизированные конденсаторы МПГ применяют для работы в цепях постоянного, переменного и пульсирующего тока. В конструктивном оформлении для печатного монтажа изготовляются металлопленочные конденсаторы типа КМПМ, К73П-3, К73П-4, К74П-2, пленочные К74-5 и др. Для микромодулей применяются пленочные микроконденсаторы К74П-4, которые монтируются на микроплатах.

Конденсаторы типа ПМ. Пленочные полистирольные малогабаритные конденсаторы выпускаются двух видов: негерметизированные ПМ-1 и герметизированные ПМ-2, которые предназначены для работы в цепях постоянного тока. Конденсаторы имеют ТКЕ не более $-200 \cdot 10^{-6}$ *град*$^{-1}$, изготовляются по I, II и III классам точности и широко используются при печатном монтаже.

Внешний вид пленочных конденсаторов приведен на рис. 13, *а—ж*.

Конденсаторы типа КМПМ. Металлопленочные миниатюрные конденсаторы для микромодулей представляют собой секции из металлизированной пленки, которые устанавливаются на микроплаты.

Для монтажа секций на контактные дорожки микроплаты наносится слой токопроводящего клея — контактол К-1, с помощью которого осуществляется крепление конденсатора. После приклеивания секции к микроплате она покрывается голубой эмалью.

Конденсаторы К74П-4 идентичны по конструкции КМПМ, внешний вид которого представлен на рис. 13, *б*. Выводы конденсатора присоединены к 1 и 4 пазам микроплаты.

Конденсаторы предназначены для работы в цепях постоянного, переменного и пульсирующего тока. При работе в цепях переменного и пульсирующего тока амплитудное значение напряжения переменного тока или переменной составляющей пульсирующего тока принимается в зависимости от частоты от 5 до 50% от номинального напряжения постоянного тока. Конденсаторы изготовляются на номинальные емкости: 1000, 1500, 2200, 3300, 4700, 6800 *пф*, 0,01 *мкф*; по II и III классам точности.

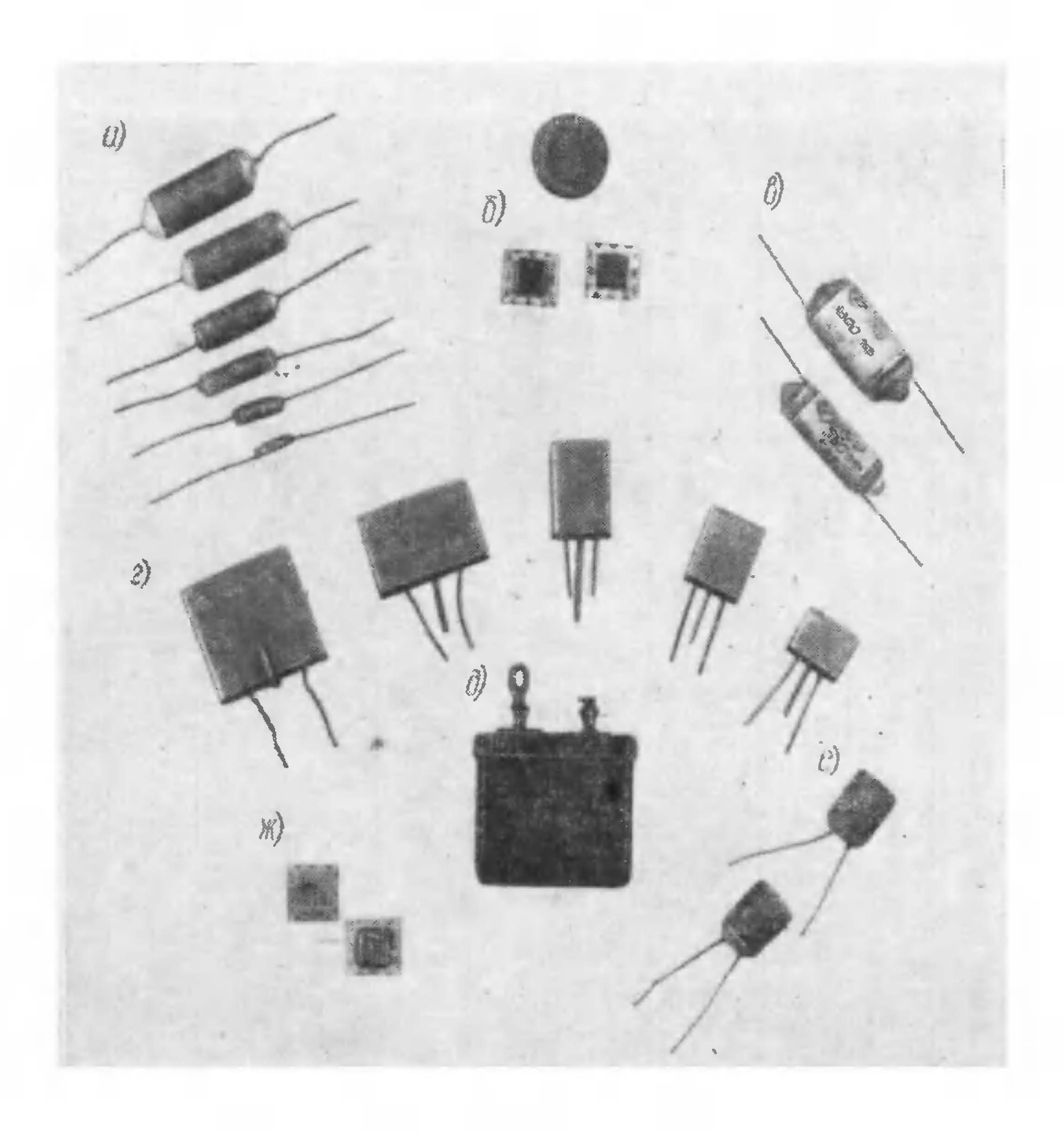


Рис. 13 Пленочные и металлопленочные конденсаторы типа: *а* — ПМ; *б* — КМПМ; *в* — ПСО; *г* — К73П-3; *д* — К73П-4; *е* — К74-5; *ж* — К74П-4

Пленочные конденсаторы типа К74-5 предназначены для работы в цепях постоянного и пульсирующего тока в аппаратуре с печатным монтажом. Диэлектриком в конденсаторах этого типа является лавсан. Номинальная емкость конденсаторов до 0,22 *мкф*; допускаемое отклонение от номинала соответствует I, II и III классам точности. Рабочее напряжение конденсаторов может быть доведено до 100 *в*. В этом случае срок службы снижается с 5000 до 1000 *ч*.

Таблица 8

Тип конденсатора	Параметры конденсаторов: номинальная величина емкости	номинальное рабочее напряжение, *в*	размеры корпуса, *мм*: диаметр	размеры корпуса, *мм*: длина	вес, *г*	Условия эксплуатации: интервал рабочих температур, °С	относительная влажность воздуха, %	гарантийный срок службы, *ч*
ПМ-1	100 *пф*—0,01 *мкф*	60	3,4—10,0	8—18	0,4—2,5	От −60 до +70	80	3000
ПМ-2	100 *пф* — 0,01 *мкф*	60	4—11	14—24	0,8—4,5	От −60 до +70	98	3000
КМПМ	1000—6800 *пф* и 0,01 *мкф*	60—160	6 × 6 × 2,7		0,4	От −60 до +85	98	5000
К73П-3	500 *пф* — 1 *мкф*	60—160	11 × 11 × 6		3—10	От −60 до +125	98	5000
К73П-4	0,5—15 *мкф*	250	31 × 16 × 16		40	От −60 до +70	98	5000
К74П-2	100 *пф* — 1000 *мкф*	60—100	11 × 11 × 15		5—10	От −60 до +100	80	—
К74П-4	1000—10 000 *пф*	60—160	6 × 6 × 4		0,4—0,5	От −60 до +125	98	3000
К74-5	1000—220 000 *пф*	30—50	5 × 2,5 × 13,5		0,4—5,5	От −20 до +70	98	5000

Основные технические данные и условия эксплуатации пленочных и металлопленочных конденсаторов приведены в табл. 8.

В. СЛЮДЯНЫЕ КОНДЕНСАТОРЫ

Промышленность выпускает значительное количество разнообразных слюдяных конденсаторов, которые находят применение в низкочастотных и высокочастотных цепях аппаратуры связи.

Диэлектриком для конденсаторов этого типа чаще всего служит

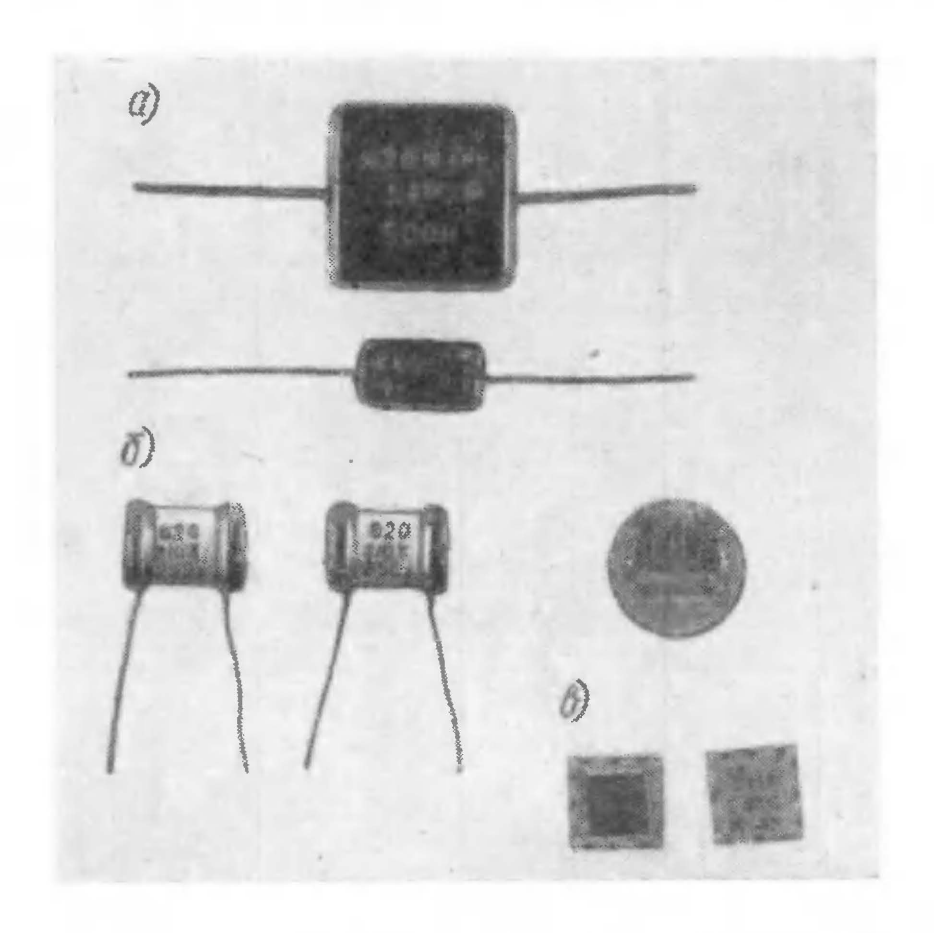


Рис. 14. Внешний вид слюдяных конденсаторов: *а* — КСО; *б* — СГМ; *в* — К31П-6

калийная слюда-мусковит. Тонкие пластинки слюды укладываются между обкладками из оловянно-свинцовой, алюминиевой или медной фольги. Конденсаторы делятся по ТКЕ на четыре группы в интервале температур от +20 до +85° С и имеют значения от $\pm 50 \cdot 10^{-6}$ до $\pm 1000 \cdot 10^{-6}$ *град*$^{-1}$.

В зависимости от технических характеристик, условий эксплуатации и конструктивно-технологических особенностей конденсаторы выполняются нескольких типов: слюдяные опрессованные КСО, герметизированные КСГ и другие. Малогабаритными являются конденсаторы СГМ, СГМЗ, К31У-3Е, К31П-6.

На рис. 14, *а* — *в* представлен внешний вид некоторых слюдяных конденсаторов.

Конденсаторы типа КСО. Слюдяные опрессованные конденсаторы предназначены для работы в цепях постоянного и перемен-

Таблица 9

Тип конденсатора	Параметры конденсаторов						Условия эксплуатации		
	номинальная величина емкости, *пф*	номинальное рабочее напряжение, *в*	реактивная мощность, *вар*	размеры корпуса, *мм*: диаметр	размеры корпуса, *мм*: длина	вес, *Г*	интервал рабочих температур, °С	относительная влажность воздуха, %	гарантийный срок службы, *ч*
КСО	51—10 000	250—500	5—20	(13—20) × (7—20) × × (4,5—9,0)		1,5—10,0	От −60 до +70	80	5000
СГМ	100—10 000	250—1500	5—20	(9,5—22,0) × (13—18) × × (6—9)		3—10	От −60 до +80	98	5000
К31У-3Е	51—10 000	250—1000	5—20	14—20	6—9	2—10	От −60 до +150	98	2000—10 000
К31П-6	100—1000	100	5—20	6 × 6 × 3		0,4	От −60 до +125	98	5000

ного токов. Допускается применять их также для работы в импульсных режимах.

В специальной аппаратуре применяются особые конденсаторы слюдяные опрессованные теплостойкие ОКСОТ, КСОТ и др. Конденсаторы этого типа применяются при печатном монтаже, номиналы их 51—510 *пф*; рабочее напряжение 250 *в*, вес не более 2 *Г*.

По величине ТКЕ конденсаторы типа КСО подразделяются на четыре группы. Изготовляются они по 00, 0, I, II и III классам точности.

Конденсаторы типа СГМ. Слюдяные герметизированные малогабаритные конденсаторы в керамических корпусах предназначены для работы в цепях постоянного и переменного токов. По величине ТКЕ они соответствуют группам Б, В и Г. Изготовляются конденсаторы 0, I, II и III класса точности.

Слюдяные герметизированные малогабаритные конденсаторы на заданную емкость типа СГМЗ выпускаются в нормальном и тропическом исполнении. Допускаемые отклонения емкости от номинала ±2%, ±0,5% и ±1%.

Конденсаторы типа К31У-3Е. Слюдяные конденсаторы малой мощности, повышенной надежности. По конструктивному оформлению они аналогичны конденсаторам КСО и применяются для установки на платах с печатным монтажом.

Конденсаторы типа К31П-6. Слюдяные микроконденсаторы изготовляются в микромодульном исполнении. Они рассчитаны на номинальные емкости до 1000 *пф* с исполнением по 00, 0, I, II и III классам точности. Номинальное рабочее напряжение 100 *в*.

Эти конденсаторы крепятся на микроплатах с выводами 1—4, 1—5 или 1—8.

Основные технические характеристики и условия эксплуатации некоторых слюдяных конденсаторов приведены в табл. 9.

Г. КЕРАМИЧЕСКИЕ КОНДЕНСАТОРЫ

Большое применение получили конденсаторы, у которых диэлектриком служит керамика и ее разновидности — сегнетокерамика, тиконд и другие. Обкладками для этой многочисленной группы конденсаторов является слой серебра, который наносится на диэлектрик.

Керамические конденсаторы широко используются в радиоприемной, радиопередающей и телевизионной аппаратуре. По величине ТКЕ, который находится в пределах от $+(33-120)\cdot10^{-6}$ до $-(33-1500)\cdot10^{-6}$ *град*$^{-1}$, конденсаторы разделяются на семь групп и окрашиваются в соответствующие цвета.

К низковольтным конденсаторам в обычном исполнении относятся трубчатые КТК, дисковые КДК, герметизированные КГК и пр.

К высоковольтным сегнетоэлектрическим конденсаторам относятся широко применяемые в телевизионной аппаратуре керами-

ческие опрессованные боченочные КОБ, предназначенные для работы в фильтрах. Высоковольтные дисковые сегнетоэлектрические КВДС предназначены для работы в качестве разделительных и блокировочных конденсаторов. Для работы при однополярных импульсах применяются конденсаторы КВИ.

В цепях высокой частоты применяются высоковольтные керамические плоские, трубчатые и горшковые конденсаторы типа К15У. Получили большое распространение трубчатые конденсаторы типа

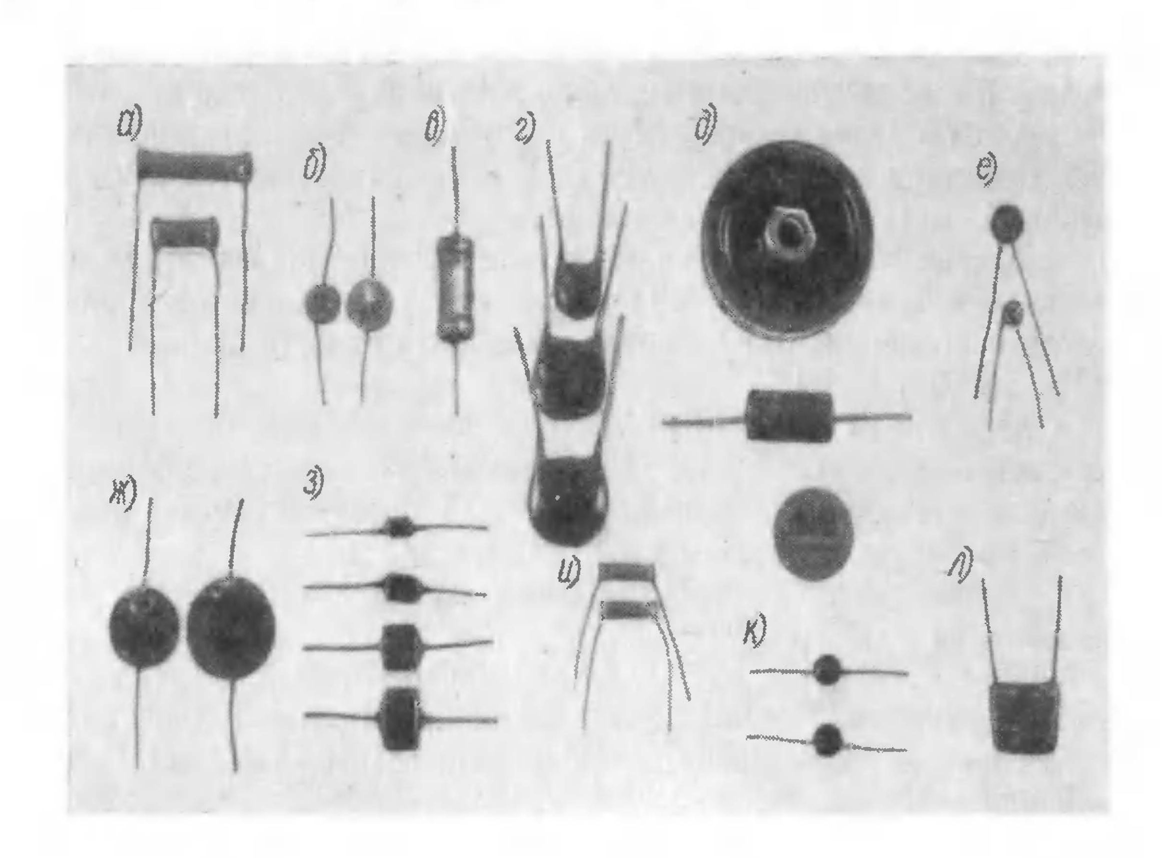


Рис. 15. Внешний вид керамических конденсаторов: *а* — КТК; *б* — КДК; *в* — КГК; *г* — КВДС и К15-5; *д* — КВИ; *е* — КД; *ж* — КДС; *з* — КЛС; *и* — КТМ, *к* — КДМ; *л* — КМ

КТ, пластинчатые разделительные КП, дисковые ультракоротковолновые КДУ и др.

Большую группу конденсаторов составляют малогабаритные опорные конденсаторы КО, трубчатые проходные сегнетоэлектрические КТПС, дисковые опорные КДО и пр. Крепление этих конденсаторов может осуществляться с помощью резьбы на его корпусе.

Миниатюрными низкочастотными конденсаторами являются дисковые сегнетоэлектрические КДС и пластинчатые КПС. В радиоаппаратуре на полупроводниках широко применяются низкочастотные трубчатые конденсаторы КТМ (КТ-1), керамические пластинчатые малогабаритные КПМ и дисковые высокочастотные КДМ (КД-1). Большое применение получили литые секционные конденсаторы КЛС.

Внешний вид некоторых керамических конденсаторов представлен на рис. 15, *а* — *л*.

Конденсаторы типа КТК и КДК. Основой трубчатого конденсатора является трубка из керамики, имеющая толщину стенки 0,25 *мм* и более. Обкладками служат слои серебра, которые наносятся на внутреннюю и наружную поверхности трубки. Керамические трубчатые конденсаторы применяются одиночными или в виде блоков из трех-четырех конденсаторов, соединенных параллельно.

Дисковые керамические конденсаторы представляют собой диск из керамики толщиной 0,15 *мм* и более, на поверхность которого нанесены серебряные слои. Конденсаторы КТК и КДК выполняются нескольких видов по 0, I, II и III классам точности, имея семь групп по величине ТКЕ.

Конденсаторы типа КГК. Герметизированные керамические конденсаторы представляют собой керамическую трубку с обкладками, которая заключена в герметический корпус.

По величине ТКЕ конденсаторы изготовляются четырех групп: П120, П33, М47 и М750. Выпускаются по 0, I, II и III классам точности. Конденсаторы предназначены для работы в цепях высокой частоты и напряжения постоянного тока до 500 *в*.

Конденсаторы типа КВДС. Керамические высоковольтные дисковые сегнетоэлектрические конденсаторы используются в цепях постоянного и переменного тока. Они выпускаются четырех видов, номиналами 1000, 2200, 4700 и 10000 *пф*. По величине ТКЕ конденсаторы относятся к группе Н70. Изготовляются по V классу точности.

Конденсаторы типа КВИ. Керамические высоковольтные импульсные конденсаторы применяются в малогабаритной аппаратуре и предназначены для работы при импульсах длительностью от 0,1 до 1000 *мксек* при частоте следования до 5000 *имп/сек*.

Номинальное импульсное напряжение от 5 до 15 *кв*. Конденсаторы изготовляются номинальной емкостью до 1000 *пф* по II и III классам точности.

Конденсаторы типа КП. Пластинчатые конденсаторы представляют собой посеребренные керамические пластинки круглой, овальной и прямоугольной формы толщиной 0,2—0,3 *мм*.

Применение пластинок из тиконда позволяет получить конденсаторы большой емкости при небольших габаритах. Конденсаторы применяются в цепях высокой частоты постоянного и переменного токов. Они изготовляются по II и III классам точности. По значению ТКЕ конденсаторы относятся к группе М1300.

Сегнетоэлектрические пластинчатые конденсаторы КПС выпускаются с номинальной величиной емкости от 510 до 40 000 *пф* на рабочее напряжение 250 *в*. КПС применяются в низкочастотных цепях. Они бывают нескольких видов с допускаемыми отклонениями в пределах от —10 до +100%; Q составляет от 1 до 5 *вар*.

К малогабаритным пластинчатым конденсаторам относятся КПМ, изготовляемые по II и III классам точности. Они используются на рабочее напряжение 100 *в* с номинальной величиной емкости от 30

до 2200 *пф*. По величине ТКЕ конденсаторы разделяются на семь групп.

Конденсаторы типа КДС. Дисковые сегнетоэлектрические конденсаторы предназначены для работы в низкочастотных цепях. КДС выпускаются трех видов с допускаемыми отклонениями в пределах от —40 до +100%.

Конденсаторы типа КЛС. Литые секционные конденсаторы используются в цепях постоянного, переменного и пульсирующего тока. Конденсаторы выполняются нескольких видов: КЛС-1, КЛС-2, КЛС-3. Некоторые из них имеют повышенную надежность и обозначаются КЛС-Е.

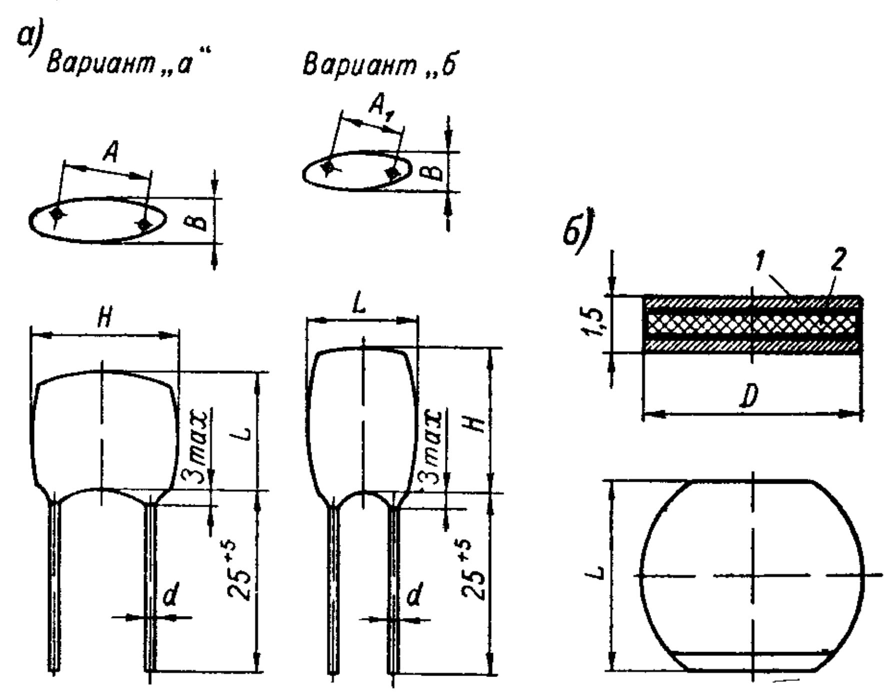


Рис. 16. Керамические конденсаторы: *а* — К10-7; *б* — К10У-3.

1 — контактный диск, *2* — пакет конденсатора

Изготовляются КЛС по II и III классам точности. Они имеют цветную маркировку: КЛС-1 — зеленую окраску, КЛС-2 — фиолетовую, КЛС-3 — белую. По величине ТКЕ конденсаторы КЛС, в интервале температур от +20 до +85° С, делятся на шесть групп. КЛС-1 изготовляются на рабочее напряжение 35 *в* емкостью 4700—33000 *пф*; КЛС-2 рассчитаны на напряжение 70 *в*, емкостью 51—10000 *пф*; КЛС-3 — на напряжение 125 *в*, емкостью от 20 до 3300 *пф*.

Конденсаторы типа КТМ и КДМ (КТ-1 и КД-1). Трубчатые и дисковые малогабаритные конденсаторы. По величине ТКЕ делятся на семь групп. Наиболее часто применяются конденсаторы I, II и III класса точности.

Конденсаторы типа К10-7. Керамические конденсаторы К10-7 предназначены для работы в цепях постоянного и переменного токов, а также в импульсных режимах. Конструктивно они изготовляются двух видов (рис. 16, *а*); выводы имеют $d = 0{,}5$—$0{,}6$ *мм*; A и A_1 — от 2,5 до 7,5 *мм*. Основные габариты приведены в табл. 11. Возможна эксплуатация в условиях тропического климата. Конденсаторы покрываются цветной эмалью, чаще оранжевой. Цвет маркировочной точки—зеленый или белый. Допускаемые отклонения действительной величины емкости в пределах от —20 до +50% и от —20 до +80%.

Конденсаторы типа К10У получают прессованием пакетов, собранных из металлизированной керамической пленки. Они предназначены для работы в цепях постоянного, переменного и пульсирующего тока. Изготовляются конденсаторы нескольких типов.

Для печатного монтажа выполняются конденсаторы К10У-1 и К10У-2 с номинальной емкостью от 150 до 4700 *пф* по I, II и III классам точности. Номинальное рабочее напряжение постоянного тока 400 *в*. Допускаемая реактивная мощность от 0,5 до 2,0 *вар*.

На рис. 16, *б* представлен таблеточный конденсатор К10У-3. Такие конденсаторы изготовляются трех типоразмеров в зависимости от группы ТКЕ: $D = 2{,}5 - 6{,}5$ *мм*; $L = 2{,}2$—$6{,}2$ *мм*. Номинальное значение емкости от 33 *пф* до 0,1 *мкф*, допускаемые отклонения в пределах от —20 до +50%.

Миниатюрные керамические конденсаторы К10У-5 предназначены для работы в цепях постоянного и переменного токов и в импульсном режиме при частоте до 100 *кгц*. Номинальная емкость конденсаторов от 0,022 до 2,2 *мкф*; напряжение постоянного тока 3—25 *в*. Диаметр конденсатора 6 *мм* и более; вес — 0,5—2,5 *Г*.

Конденсаторы типа КМ. Монолитные конденсаторы представляют собой керамические металлизированные тонкие пластинки, которые спрессовываются в пакеты. Они получили широкое применение в малогабаритной аппаратуре и предназначены для работы в цепях постоянного, переменного и пульсирующего тока. По величине удельной емкости они превосходят другие виды керамических конденсаторов.

По конструкции выводов, весу и габаритам конденсаторы КМ выполняются в нескольких вариантах и соответствуют внешнему виду, представленному на рис. 17. Конденсаторы КМ-3, КМ-4 и КМ-6 имеют выводы $d = 0{,}5 - 0{,}6$ *мм*, расстояние между ними $A = 2{,}5$—10 *мм*, размеры L_1 и B_1 соответствуют 5—14 *мм*. Для КМ-5 (рис. 17, *в*): $L_2 = 4$—12 *мм*; $L_3 = 5$—13 *мм*; $B_2 = 4$—12 *мм*; $h = 0{,}7$—$1{,}5$ *мм*; $h_1 = 0{,}5$—$2{,}5$ *мм*. По величине ТКЕ монолитные конденсаторы изготовляются семи групп.

Конденсаторы КМ-3 выполняются с допускаемыми отклонениями емкости в пределах —20 до +50%; КМ-4 и КМ-5 изготовляются по I, II и III классам точности, а конденсаторы КМ-6 имеют отклонения от —20 до +80%.

Основные технические характеристики монолитных конденсаторов и условия их эксплуатации приведены в табл. 10.

Конденсаторы типа КМК. Монолитные конденсаторы КМК (рис. 18) представляют собой металлизированные керамические па-

кеты и предназначены для использования в микромодулях. КМК изготовляются однослойными (КМК-1) и многослойными (КМК-2 и КМК-3) из керамической массы, которая после закрепления на ми-

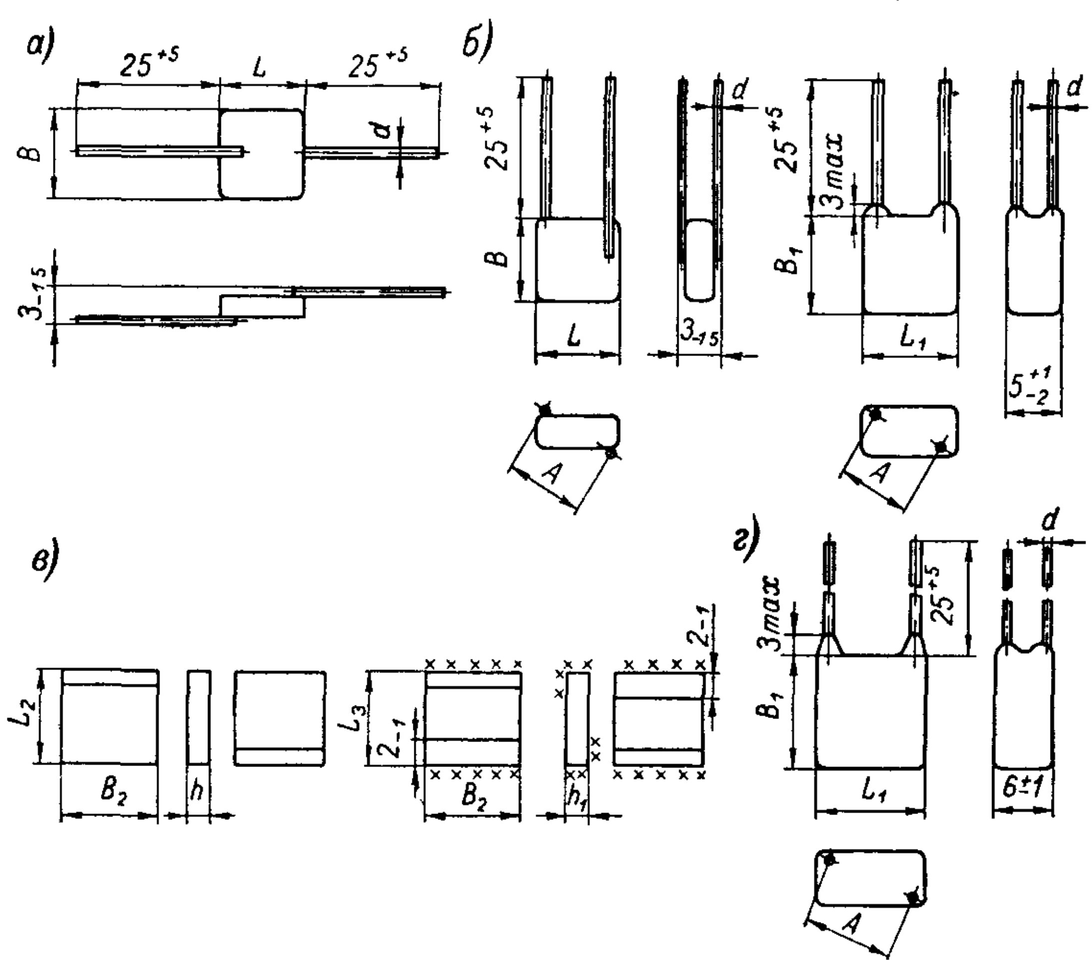


Рис. 17 Керамические конденсаторы типа КМ: *а* — неизолированные с разнонаправленными выводами (КМ-3), *б* — неизолированные и изолированные с однонаправленными выводами (КМ-4); *в* — неизолированные нелуженые и луженые без проволочных выводов (КМ-5); *г* — с изолированными однонаправленными выводами (КМ-6)

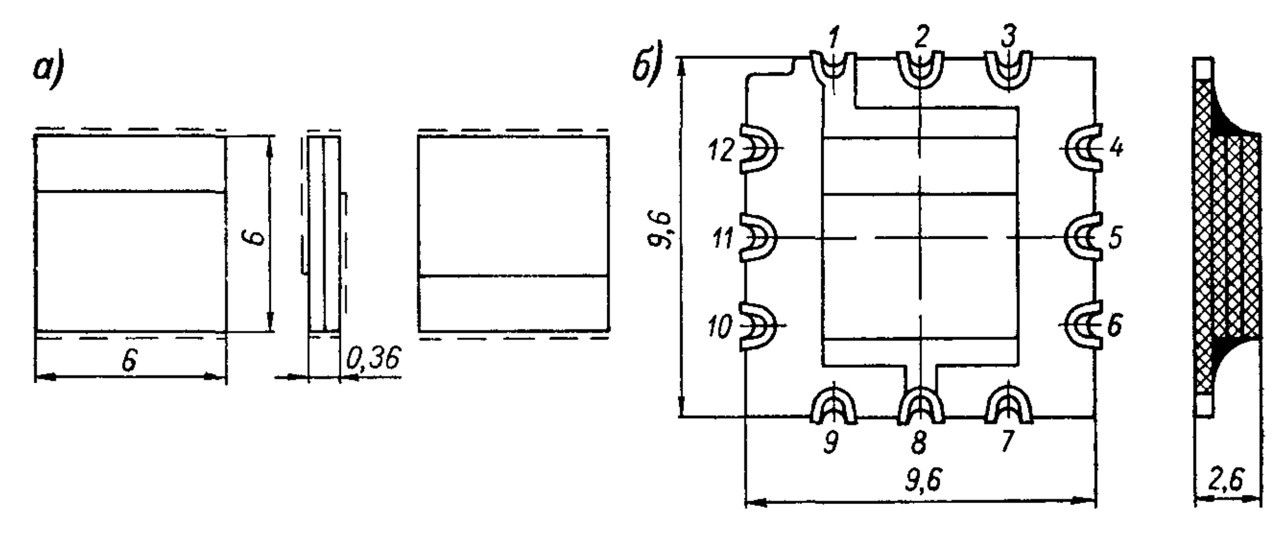


Рис. 18. Конденсаторы типа КМК: *а* — пакет конденсатора; *б* — микромодульный конденсатор

кроплате покрывается эмалью. По величине ТКЕ они аналогичны конденсаторам КМ (табл. 10). Номинальная величина емкости конденсатора КМК зависит от количества керамических пластин в па-

Таблица 10

Тип конденсатора	Параметры конденсаторов: группа по ТКЕ	номинальная величина емкости	номинальное рабочее напряжение, *в*	реактивная мощность, *вар*	габариты, *мм*: длина *L*	ширина *B*	толщина *H*	вес, *г*	Интервал рабочих температур °С
КМ-3	Н30	680 *пф* — 0,022 *мкф*	160—250	0,5—2,0	4—12	4—12	3—5	0,5—3,0	От —60 до +125
КМ-4	П33, М47, М75, М750, М1500	16—3600 *пф*	100—250	10—40					От —60 до +155
	Н30	1500 *пф* — 0,047 *мкф*							От —60 до +125
КМ-5	П33, М47, М75, М750, М1500	75—5600 *пф*	50—160	10—40	4—14	4—14	0,7—5,0		От —60 до +155
	Н30	4700 *пф* — 0,068 *мкф*							От —60 до +125
	Н90	0,015—0,15 *мкф*							От —60 до +85
КМ-6	Н90	0,1—1,0 *мкф*	35	0,5—2,0	8—14	8—18	6	1,5—4,0	От —60 до +85

Примечание. Конденсаторы допускают эксплуатацию при относительной влажности воздуха 98%; гарантийный срок службы 5000 *ч*

Таблица 11

Тип конденсатора	Параметры конденсаторов						Интервал рабочих температур, °С
	номинальная величина емкости	номинальное рабочее напряжение, *в*	реактивная мощность, *вар*	размеры корпуса, *мм*		вес, *Г*	
				диаметр *D*	длина *L*		
КТК	2—20 000 *пф*	250—500	25—125	5	11—50	1—3	От —60 до +80
КДК	1—6800 *пф*	250—500	25—75	8—16	—	2—3	От —60 до +80
КГК	5—1000 *пф*	2—500	25—125	7	16—55	2,5—4,5	От —60 до +85
КВДС	1000—10 000 *пф*	1500	1—10	10—25	—	3—6	От —60 до +85
КВИ	51—1000 *пф*	5—30 *кв*	—	4,8—8,0	8—16	1,5—6,5	От —60 до +100
КП	30—1500 *пф*	150—250	20—100	13	16	1,5—4,5	От —60 до +155
КДС	1000—6800 *пф*	250	—	4,2—12,2	—	—	От —60 до +80
КЛС	20—33 000 *пф*	35—125	4—175	(4—6)×(4—10)×4		0,3—1,5	От —60 до +85
КТМ	1—10 000 *пф*	60—150	20—50	3,5—4,0	10—20	0,5—1,5	От —60 до +70
КДМ	1—2200 *пф*	30—250	20—40	—	—	0,3—1,0	От —60 до +155
К10-7	100 *пф*—0,033 *мкф*	35—300	20—100	(7—15)×(6—14)××(3,5—4,5)		0,8—3,6	От —60 до +125
К10У	33 *пф*—0,1 *мкф*	350	2—10	2,5—6,5	2,2—6,2	0,5—2,5	От —60 до +125
КМ	16 *пф*—1,0 *мкф*	35—250	0,5—40	(4—14)×(4—18)××(0,7—6,0)		0,5—4,0	От —60 до +155
КМК	16 *пф*—0,047 *мкф*	35—160	0,5—10	6×6×1,9		0,5	От —60 до +125

Примечание. Конденсаторы допускают эксплуатацию при относительной влажности воздуха 98%; гарантийный срок службы 2000—5000 *ч*.

кете (рис. 18, *а*). Выводы конденсатора обычно подключаются к 1-му и 8-му пазам микроплаты (рис. 18, *б*). КМК -1 с номинальной емкостью от 4,7 до 100 *пф* используются для работы в цепях с рабочим напряжением 160 *в*; КМК-2 номиналом от 16 *пф* до 0,047 *мкф*— в цепях с рабочим напряжением 50, 70 и 100 *в*; КМК-3 — от 75 *пф* до 0,047 *мкф* — с рабочим напряжением 35 *в*. После заливки конденсаторов в микромодуль емкость их изменяется на 5—12 *пф*.

КМК предназначены для работы в цепях постоянного и переменного тока в интервале рабочих температур от —60 до +85° С и от —60 до +125° С.

В сводной табл. 11 приведены технические характеристики и условия эксплуатации некоторых керамических конденсаторов.

Д. СТЕКЛЯННЫЕ И СТЕКЛОЭМАЛЕВЫЕ КОНДЕНСАТОРЫ

Диэлектриком у конденсаторов этого вида служит тонкий слой стеклянной или стеклоэмалевой массы. Слои такой массы чередуются со слоями серебра и спекаются при высокой температуре в монолитный блок.

Радиопромышленность выпускает стеклянные конденсаторы типа К21У, стеклоэмалевые КС, специальные СКС-1 и др.

Стеклянные и стеклоэмалевые конденсаторы используются для блокировки, емкостной связи и шунтирования электрических цепей, а также в качестве контурных конденсаторов.

Конденсаторы типа К21У. Стеклянные конденсаторы выпускаются нескольких типов. К21У-4 предназначены для работы в цепях постоянного, переменного и пульсирующего тока, а также в импульсных режимах. Температурный коэффициент емкости стеклянных конденсаторов положительный и в интервале рабочих температур составляет $+(140\pm50)\cdot10^{-6}$ *град*$^{-1}$. Конденсаторы изготовляются по I, II и III классам точности.

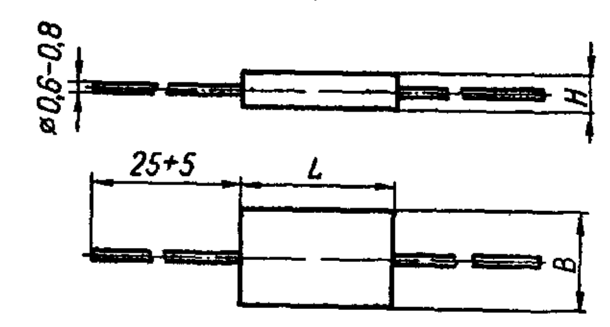


Рис. 19. Стеклянный конденсатор типа К21У-4

Внешний вид К21У-4 представлен на рис. 19.

Конденсаторы типа КС. Конденсаторы стеклоэмалевые изготовляются в виде пластинок и предназначены для работы в цепях постоянного и переменного токов. Они выпускаются нескольких видов по 0, I, II и III классам точности. Конденсаторы изготовляются четырех групп, у которых значения ТКЕ меняются в пределах $(20—140)\cdot10^{-6}$ *град*$^{-1}$.

Конденсаторы КС используются в качестве навесных радиодеталей для печатного монтажа, а также в радиотехнической малогабаритной аппаратуре. Основные технические характеристики и условия эксплуатации КС и К21У приведены в табл. 12.

Таблица 12

Тип конденсатора	Параметры конденсаторов							Интервал рабочих температур, °С
	номинальная величина емкости	номинальное рабочее напряжение, *в*	реактивная мощность, *вар*	габариты, *мм*			вес, *Г*	
				диаметр *D* или ширина *B*	длина *L*	толщина *H*		
КС	10—1000 *пф*	300—500	200—400	8—15	9—20	0,6—0,8	1,5—7,0	От —60 до +80
К21У-4	220 *пф*—0,01 *мкф*	300—500	10—40	6,5—17,5	12—18	4,0—6,5	1,5—6,0	От —60 до +125

Примечание Конденсаторы допускают эксплуатацию при относительной влажности воздуха 98%, гарантийный срок службы 2000—5000 *ч*

Конденсаторы СКС-1 предназначены для работы в цепях постоянного тока на рабочее напряжение 300 *в*. Номинальная емкость зависит от группы по ТКЕ и находится в пределах 9—200 *пф*. Интервал рабочих температур от —60 до +80° С. Гарантийный срок службы конденсаторов 5000 *ч*.

Помимо указанных конденсаторов промышленность выпускает дисковые стеклоэмалевые типа ДС, стеклокерамические многослойные КСМ и др.

Е. ЭЛЕКТРОЛИТИЧЕСКИЕ КОНДЕНСАТОРЫ

Электролитические конденсаторы предназначены для работы в цепях постоянного и пульсирующего тока. По температурному режиму эксплуатации конденсаторы подразделяются на следующие группы: Н — неморозостойкие (—10° С), М — морозостойкие (—40° С), ПМ — повышенной морозостойкости (—50° С) и ОМ — особо морозостойкие (—60°С).

Особенностью электролитических конденсаторов является необходимость включения их с соблюдением полярности. Это объясняется тем, что диэлектриком служит тонкий слой окисла металла, который наносится на металлическую обкладку и имеет одностороннюю проводимость. В качестве второй обкладки используется жидкий или сухой электролит. Диэлектрический слой с униполярной электропроводностью может быть получен на таких металлах, как алюминий, тантал, ниобий, титан и др. В зависимости от этого различают конденсаторы с алюминиевыми, танталовыми или другими анодами.

Наряду с полярными имеются сухие неполярные электролитические конденсаторы.

Достоинством электролитических конденсаторов по сравнению с другими является их небольшой объем на единицу емкости, т. е. они обладают большими емкостями при малых размерах конструк-

ции. Наряду с этим для них характерны повышенный ток утечки и большая зависимость емкости от температуры, которая с понижением температуры уменьшается.

Электролитические конденсаторы выпускаются промышленностью в различном конструктивном оформлении. Они имеют разные габариты и вес. К малогабаритным конденсаторам относятся ЭМ, ЭМИ, К50, К52, К53 и др. Внешний вид некоторых типов электролитических конденсаторов показан на рис. 20, *а* — *ж*.

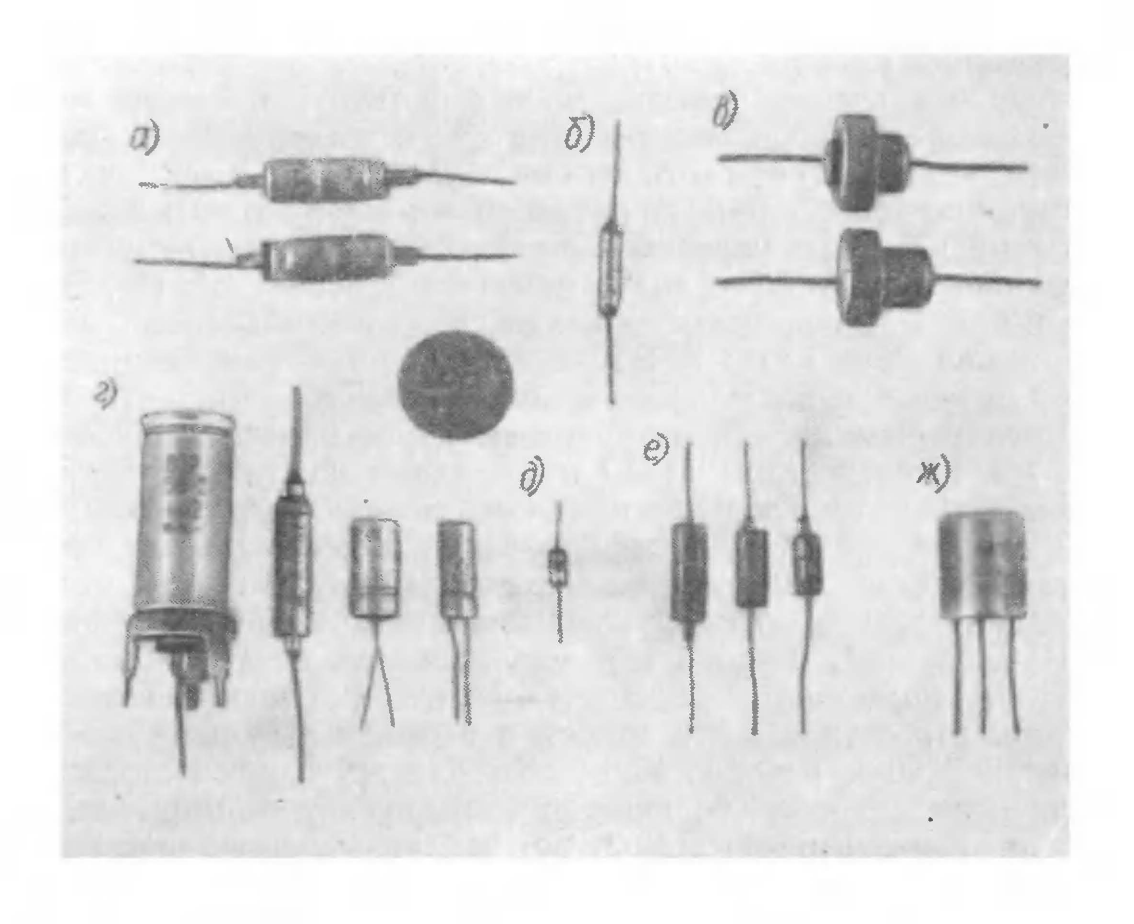


Рис. 20. Внешний вид электролитических конденсаторов типа: *а* — ЭМ; *б* — ЭМИ; *в* — ЭТО; *г* — К50; *д* — К52; *е* — К53; *ж* — КОПП

Конденсаторы типа ЭМ и ЭМИ. Электролитические малогабаритные конденсаторы часто используются в качестве блокировочных. Они имеют большой диапазон номинальной емкости и рабочих напряжений. В качестве катодной пластины в конденсаторах ЭМ и ЭМИ применяется оловянно-свинцовая фольга, которая не окисляется в сухом электролите.

Конденсаторы ЭМ заключены в алюминиевый корпус и эксплуатируются в аппаратуре на полупроводниковых приборах. По температурному режиму они относятся к группам ОМ, М и Н.

Миниатюрные конденсаторы ЭМИ изготовляются на номинальные рабочие напряжения 3 *в*, имея значительную величину номинальной емкости в 0,5; 1,25 и 10 *мкф*. Допускаемые отклонения емкости в пределах от —20 до +80%.

Конденсаторы типа ЭТ и ЭТО. Полярные сухие электролитические танталовые конденсаторы ЭТ выпускаются в цилиндрическом алюминиевом корпусе. Анод обозначают красным, а вывод катода — синим пояском.

Электролитические танталовые неполярные конденсаторы ЭТН имеют такое же устройство и характеристики, как и ЭТ. Они предназначены для работы в малогабаритной аппаратуре в условиях тропического климата. Номинальная емкость их достигает 500 *мкф*, а рабочие напряжения 150 *в*. Допускаемые отклонения от номинального значения емкости ±20% и ±30%.

Большие значения емкости можно получить в конденсаторах с объемнопористыми анодами из тантала с жидким электролитом. К таким конденсаторам относятся ЭТО (К52-2). Конструктивно они выполняются различных размеров и разделяются в зависимости от температурных условий окружающего воздуха. Выпускаются в металлическом корпусе диаметром 14 *мм* и высотой 11 *мм*, вес около 6-и *Г*. Разновидностями конденсаторов с объемнопористыми анодами являются: ЭТО-1, ЭТО-2, ЭТО-3, ЭТО-4 и специальные ЭТО-С, которые используются в малогабаритной аппаратуре. Их основные технические характеристики аналогичны конденсаторам типа ЭТО. Конденсаторы ЭТО-1 изготовляют на рабочие напряжения постоянного тока до 90 *в* и номинальные емкости от 10 до 80 *мкф*; ЭТО-2 рассчитаны на те же напряжения, а номинальные емкости достигают 1000 *мкф*. Допускаемые отклонения емкости от номинала: ±10, ±20, ±30, +50, —20%. Электролитические конденсаторы ЭТО-1Е и ЭТО-2Е широко используются при печатном монтаже.

Конденсаторы типа К50. Электролитические алюминиевые конденсаторы этого типа выпускаются в нескольких конструктивных вариантах: К50-3, К50-3А, К50-6, К50-7 и др. Конденсаторы типа К50 могут выдерживать большие линейные ускорения при частотах 5—80 *гц*. Конденсаторы К50-3Б имеют повышенную надежность с диапазоном рабочих температур от —60 до +85° С.

Конденсаторы типов К50-6 и К50-7 предназначены для работы в цепях постоянного и пульсирующего с низкой частотой тока. Конденсаторы К50-6 выпускаются полярными и неполярными; используются в качестве навесных радиодеталей для печатного монтажа; изготовляются в нормальном и тропическом исполнении. Допускаемые отклонения в пределах от —20 до +80%.

Конденсаторы типа К52. Электролитические конденсаторы этого типа относятся к объемнопористым с танталовыми анодами (ЭТО).

Конструктивно К52 выполняются трех видов: К52-1, К52-2, К52-3. Размеры К52 значительно меньше конденсаторов с анодами из фольги тантала.

Конденсаторы типа К53. Миниатюрные конденсаторы К53 являются оксиднополупроводниковыми. Выполняются в нескольких конструктивных вариантах. Наиболее широкое применение нашли конденсаторы типа К53-1. Другими разновидностями являются К53-2, К53-3, К53-4, К53-5, К53-6, К53-7. В конденсаторах применяются аноды из навитой спиралью танталовой проволоки и цилиндрические объемнопористые, спрессованные из танталового порошка. Конденсаторы К53-4 аналогичны танталовым К53-1, но изготовлены на основе ниобия.

К53-1 могут успешно эксплуатироваться в особо сложных условиях. Они выпускаются по I, II и III классам точности. Таблеточные микроконденсаторы К53-2 рассчитаны на номинальные емкости от $0,047 \cdot 10^6$ до $4,7 \cdot 10^6$ *пф* с отклонениями в пределах от —20 до +50%. Для микромодульных конструкций используются конденсаторы К53-5, а для печатного монтажа применяют К53-6. Конденсаторы К53-7 являются неполярными.

Конденсаторы типа КОПП. Оксиднополупроводниковые конденсаторы КОПП представляют собой цилиндрический анод из порошка тантала, на который нанесена оксидная пленка Ta_2O_5. Другой обкладкой конденсатора является двуокись марганца MnO_2, которая наносится на оксидированный анод. Секция конденсатора помещается в металлический корпус и заливается эпоксидной композицией.

Конденсаторы КОПП имеют односторонние проволочные выводы и конструктивно приспособлены для крепления на платах с печатным монтажом.

Оксиднополупроводниковые конденсаторы КОПП твердого типа, не содержат рабочего электролита. Они имеют хорошие электрические характеристики и малые габариты, что обусловило их применение в миниатюрной аппаратуре.

Конденсаторы типа КОПМ. Оксиднополупроводниковые миниатюрные конденсаторы имеют таблетированный объемнопористый анод из порошка тантала, либо анод из проволоки тантала. К таблетке диаметром 4—6 *мм*, толщиной 2—4 *мм* присоединяется проволочный анодный вывод диаметром 0,4 *мм*. В других конструкциях конденсаторов применяются аноды из проволоки тантала диаметром 0,8 *мм*, имеющие 1—2 витка.

КОПМ выпускаются для микромодульных конструкций, где секция конденсатора приклеивается к поверхности микроплаты выводами к соответствующим пазам и подвергается покрытию лаком. На рис. 21, *а* представлен КОПМ с анодом из порошка тантала с выводами на микроплате к пазам *1—4*.

На рис. 21, *б* представлен КОПМ с анодом из проволоки тантала с выводами на микроплате к пазам *1—5*. Конденсаторы с проволочными анодами имеют номинальную емкость от 0,033 до 1 *мкф*, при рабочем напряжении 15 *в*.

Конденсаторы типа КОПМ в микромодульном исполнении изготовляются с допускаемыми отклонениями емкости от номинала ±10, ±20 и ±30%. После заливки микромодуля изменение величины емкости конденсатора не превышает ±5%. Конденсаторы предназначены для работы в цепях постоянного и пульсирующего тока. В табл. 13 приведены технические характеристики некоторых типов электролитических конденсаторов.

Таблица 13

Тип конденсатора	Параметры конденсаторов: номинальная величина емкости, *мкф*	номинальное рабочее напряжение, *в*	размеры корпуса, *мм*: диаметр	длина	вес, *Г*	Интервал рабочих температур, °С
ЭМ	0,5—50	4—150	4,3—8,5	15—30	2,0—2,4	От −60 до +70
ЭМИ	0,5—10	3—150	3	10,5—12,0	0,6—0,7	От −20 до +50
ЭТО	10—1000	6—500	13,5—24,0	10—12	6—25	От −60 до +100
К50-3	1—5000	6—450	4,5—8,5	19—33	1,5—4,0	От −40 до +70
К50-6	1—4000	6—160	7,5—21,5	13—45	0,6—35,0	От −10 до +85
К52-1	1,5—470	3—100	3,0—4,6	11—17,5	1,0—2,5	От −60 до +85
К53-1	0,33—100	6—30	3,2—7,2	7,5—16,0	0,5—6,5	От −80 до +85
К53-2	0,047—15	6—30	2,7	4,7	0,4—1,6	От −60 до +70
К53-4	0,47—100	6—20	3,2—7,2	7,5—16,0	0,5—4,0	От −60 до +85
К53-5	0,047—10	6—30	6 × 6 × 3,5		0,6—0,8	От −60 до +125
К53-6	4,7—100	6—30	10,5	18,2	6—8	От −60 до +125
К53-7	0,1—47	15—30	3,2—7,8	18—30	2—11	От −60 до +85
КОПП	4,7—100	6—30	10,5	14—18	6—8	От −60 до +85
КОПМ	0,047—10	6—30	6 × 6 × 3,5		0,2—0,8	От −60 до +85

Примечание. Конденсаторы допускают эксплуатацию при относительной влажности воздуха 98%, гарантийный срок службы 500—5000 *ч*

Помимо описанных конденсаторов постоянной емкости применяются также печатные конденсаторы в сочетании с печатным монтажом. В качестве диэлектрика для печатных конденсаторов исполь-

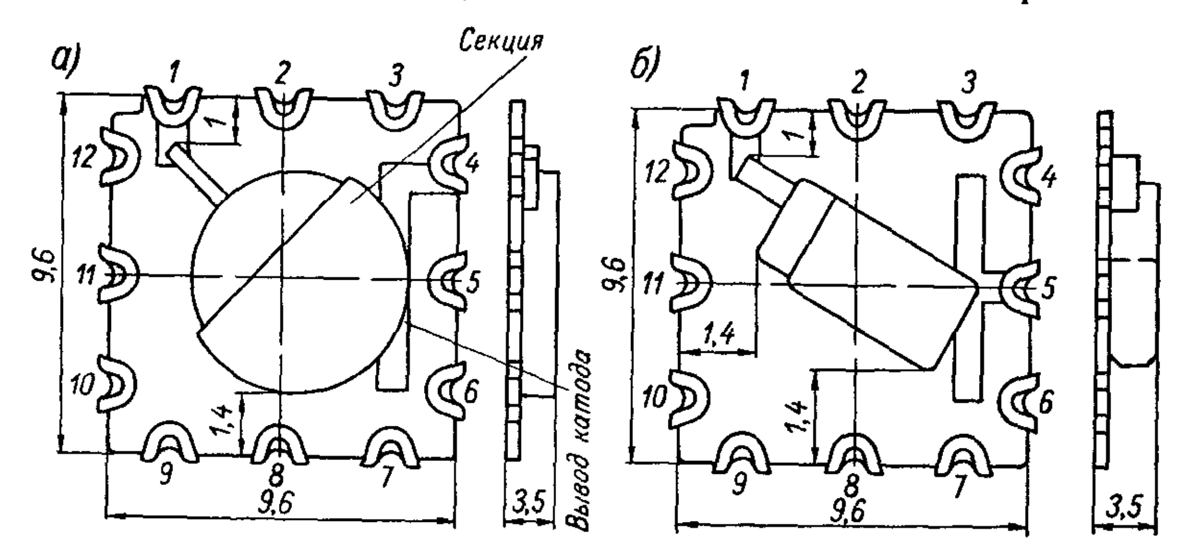


Рис 21. Конденсаторы типа КОПМ: *а* — с анодом из порошка тантала; *б* — с анодом из проволоки тантала

зуется печатная плата, на плоскости которой наносятся обкладки. В зависимости от электрических параметров материала платы и ее толщины в местах нанесения обкладок, а также площади самих обкладок, можно получить конденсаторы небольших величин емкости, невысокой точности и стабильности.

13. Конденсаторы переменной емкости

Для плавного изменения величины емкости в процессе эксплуатации применяются конденсаторы переменной емкости, которые не стандартизованы и разрабатываются применительно к заданным требованиям. Конденсаторы изготовляются с воздушным или твердым диэлектриком, который находится между неподвижными (статорными) и подвижными (роторными) пластинами. При вращательном движении ротора, по мере продвижения подвижных пластин относительно неподвижных, изменяется активная площадь, а следовательно, и емкость конденсатора, что используется для настройки контуров в заданном диапазоне частот. Рабочий угол поворота ротора обычно 180° или 90°, реже 270°. Наиболее распространены конденсаторы с воздушным диэлектриком.

Емкость пластинчатого конденсатора с воздушным диэлектриком может быть определена по формуле

$$C_\varphi = 0{,}0885 \frac{S(n-1)}{d} + C_{\text{мин}},$$

где C_φ — емкость конденсатора в положении ротора, повернутом на угол φ, *пф*; S — активная площадь пластины, *см*^{2}; n — число пластин конденсатора; d — расстояние между пластинами ротора

и статора, *см*; $C_{мин}$ — минимальная емкость, обусловленная конструкцией конденсатора, *пф*.

В зависимости от назначения конденсаторы имеют различные конструкции и пределы емкостей. Например, конденсаторы, используемые в цепях радиоприемных устройств, отличаются от конденсаторов радиопередающих устройств, поскольку они рассчитаны для работы при разных напряжениях и токах. Что касается величин емкости, то это обусловлено диапазоном частот тока, в цепях которых они применяются.

Одной из важных характеристик конденсатора является закон изменения емкости в зависимости от угла поворота ротора. Различают *прямоемкостный, прямоволновой, прямочастотный и логарифмический* характер изменения емкости

Прямоемкостные конденсаторы имеют наиболее простую конфигурацию пластин, а величина емкости изменяется пропорционально углу поворота ротора $C = \varphi(\alpha^\circ)$. Такие конденсаторы используются в аппаратуре с малым коэффициентом перекрытия диапазона настройки, а также в качестве регулировочных.

Если в радиоаппаратуре требуется шкала с линейной зависимостью длины волны $\lambda = \varphi(\alpha^\circ)$, то применяются *прямоволновые* конденсаторы.

Прямочастотные конденсаторы обеспечивают равномерное распределение частот внутри диапазона и одинаковую плотность настройки. Поэтому они получили широкое применение для настройки колебательных контуров в радиоприемной и измерительной аппаратуре.

Резонансная частота контура изменяется пропорционально углу поворота ротора $f = \varphi(\alpha^\circ)$.

Для *логарифмических* конденсаторов характерно одинаковое относительное приращение частоты при изменении угла поворота ротора $\log f = \varphi(\alpha^\circ)$. Они используются в аппаратуре, где необходима точность настройки по диапазону.

Часто несколько конденсаторов переменной емкости объединяют в один блок, у которого роторные пластины конденсаторов насажены на одну ось. Поворот оси одновременно изменяет емкость всех секций блока.

Значение величины ТКЕ для конденсаторов переменной емкости зависит от их конструкции. В большинстве случаев ТКЕ бывает положительным и колеблется в пределах $(20—300) \cdot 10^{-6}$ *град*$^{-1}$.

В последнее время разработаны конструкции малогабаритных конденсаторов переменной емкости с воздушным диэлектриком и керамическим основанием. Однако номинальная величина емкости таких конденсаторов обычно невелика: $C_{мин} = 3—4$ *пф* и $C_{макс} = 48—50$ *пф*.

В миниатюрной радиоаппаратуре получили распространение малогабаритные конденсаторы с твердым диэлектриком — керамические переменные конденсаторы. Высокая диэлектрическая проницаемость керамики обеспечивает большую удельную емкость и создает возможность значительно уменьшать размеры и вес конденсаторов.

Наряду с увеличением емкости и уменьшением габаритов в таких конденсаторах значительно снижается вибрация роторных пластин и вызываемая этим частотная модуляция и микрофонный эффект. Они стабильны в работе, обеспечивают лучшее сопряжение настроенных схем, устойчивы к ударам и вибрациям. Существенный недостаток этих конденсаторов заключается в том, что по мере стирания диэлектрика меняется емкость конденсатора и этим самым ограничиваются виды применяемых диэлектриков.

Известны конструкции двухсекционных переменных конденсаторов с диэлектриком из керамики, имеющие диапазон изменения емкости от 6,1 до 141,5 *пф*; угол поворота ротора 192°; рабочее напряжение 50 *в*; ТКЕ $= (750 \pm 120) \cdot 10^{-6}$ *град*$^{-1}$; размеры $15 \times 15 \times 8$ *мм*. Другие малогабаритные конденсаторы имеют диапазон изменения емкости от 2—5 до 170—475 *пф*.

Еще одной конструкцией переменного конденсатора с керамическим диэлектриком является двухсекционный конденсатор, имеющий прямоволновой закон изменения емкости. Диапазон величины емкости для каждой секции: от 6 до 175 *пф*, с отклонением в пределах от —10 до +30%. Рабочее напряжение должно быть не менее 10 *в*; размеры: диаметр корпуса 33 *мм*, высота 6,3 *мм*.

В последние годы в миниатюрной радиоаппаратуре высоких частот все шире вместо конденсаторов переменной емкости используют полупроводниковые диоды, получившие название «варикап». У этих диодов емкость *n—p*-перехода меняется в зависимости от приложенного к переходу постоянного обратного напряжения.

14. Подстроечные конденсаторы

Подстроечные конденсаторы применяются в различных схемах для настройки колебательных контуров на заданные фиксированные частоты, установки требуемой величины емкостной связи между цепями и других целей. Они отличаются небольшими пределами изменения величины емкости и малыми габаритами. Большое применение получили подстроечные конденсаторы с максимальной емкостью до 25—30 *пф*. В контурах ДВ, СВ и КВ диапазонов используются подстроечные конденсаторы, имеющие $C_{макс} = 25$ *пф*; в диапазоне УКВ применяются конденсаторы емкостью $C_{макс} = 8—12$ *пф*, а для контуров ДЦВ величина $C_{макс}$ составляет 4—5 *пф*.

В радиотехнической аппаратуре применяются подстроечные полупеременные конденсаторы разнообразной конструкции с воздушным и с твердым диэлектриками. Некоторые из этих конденсаторов нормализованы.

Конденсаторы типа КПВ. Большое распространение получили пластинчатые подстроечные конденсаторы с воздушным диэлектриком. Конструктивно они схожи с конденсаторами переменной емкости. При этом имеется возможность с помощью отвертки или спе-

циального устройства изменять емкость КПВ в определенных пределах с последующим закреплением ротора. Конденсаторы выпускаются нескольких видов с рабочим углом поворота ротора 180° и 90°.

Пластинчатые воздушные конденсаторы изготовляются с емкостью в пределах: $C_{мин} = 4—8$ *пф* и $C_{макс} = 50—140$ *пф*. Допускаемое отклонение емкости от номинала ±20%. Конденсаторы предназначены для работы в цепях с рабочим напряжением постоянного тока 300 *в*. Среднее значение величины ТКЕ находится в пределах $+ (100—150) \cdot 10^{-6}$ *град*$^{-1}$.

Конденсаторы типа КПВМ. В последнее время промышленность выпускает малогабаритные воздушные подстроечные конденсаторы типа КПВМ (рис. 22). Конденсаторы этого типа обычной серии имеют $l = 20—33$ *мм* и $l_1 = 10—24$ *мм*; емкость $C_{макс} = 0{,}5—3{,}0$ *пф* и $C_{макс} = 1{,}5—26$ *пф*; ТКЕ $= +60 \cdot 10^{-6}$ *град*$^{-1}$; сопротивление изо-

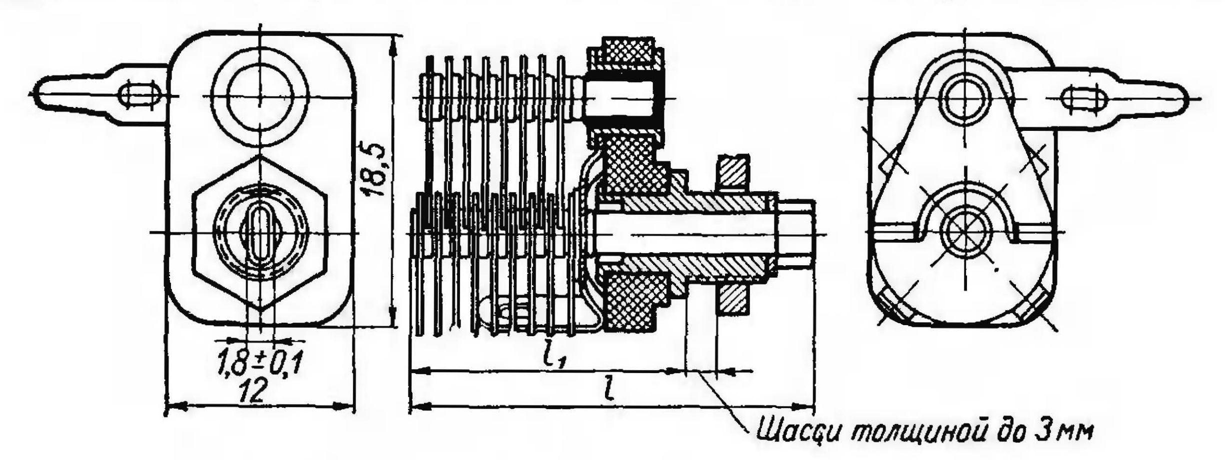


Рис. 22. Подстроечный конденсатор типа КПВМ

ляции 1 000 *ом*. Они выпускаются с рабочим углом поворота ротора 180° и 90°, последние применяются для подстройки высокочастотных контуров в симметричных схемах. Некоторые конструкции конденсаторов предназначены для аппаратуры с печатным монтажом.

Конденсаторы типа КПК. Керамические подстроечные конденсаторы широко используются для подгонки параметров и настройки колебательных контуров малогабаритных радиоприемников, телевизоров и другой аппаратуры. В качестве диэлектрика применена керамика, что упростило конструкцию и значительно уменьшило размеры по сравнению с подстроечными конденсаторами типа КПВ.

Конденсаторы КПК выпускаются в массовом производстве. Они состоят из неподвижного основания, которое является статором, и подвижного диска — ротора, выполненными из керамики. Обкладками являются слои серебра, нанесенные в виде секторов на статор и ротор. При повороте ротора изменяется величина емкости конденсатора. Эти конденсаторы при малых габаритах имеют сравнительно большие значения емкости: $C_{мин} = 6—25$ *пф*, $C_{макс}$ до 450 *пф*; номинальное рабочее напряжение постоянного тока 500 *в*; температурный коэффициент емкости ТКЕ $= - (550 \pm 250) \times 10^{-6}$ *град*$^{-1}$. Интервал рабочих температур от —60 до +80° С.

По конструктивному оформлению и размерам КПК разделяются на несколько видов, некоторые из которых стандартизованы. Их размеры: 10,8 × 33,5 *мм*; вес — от 8 до 40 *Г*. КПК в двух конструктивных вариантах представлены на рис. 23,*а* и *б*. Они имеют ТКЕ $= - (450 \pm 250) \cdot 10^{-6}$ *град*$^{-1}$. Конденсаторы КПК-1 имеют $C_{мин} = 2—8$ *пф*, а $C_{макс} = 7—30$ *пф*; КПК-2 могут изменять величину емкости от $C_{мин} = 6—25$ *пф* до $C_{макс} = 60—150$ *пф*; КПК-3 имеют $C_{мин} = 75—350$ *пф* и $C_{макс} = 200—450$ *пф*.

Наибольшее применение получили конденсаторы КПК-1, у которых диаметр ротора составляет 18 *мм*. Другие конструкции имеют размеры 28—35 *мм*.

Подстроечные конденсаторы КПК-2 часто используются для настройки малогабаритных радиоприемников прямого усиления.

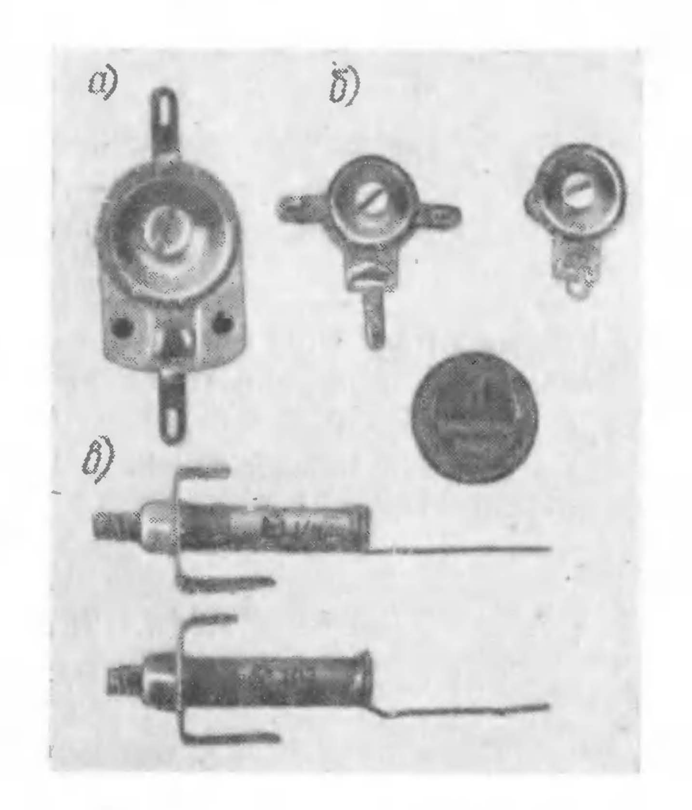


Рис. 23. Внешний вид керамических подстроечных конденсаторов типа: *а*, *б* — КПК; *в* — КПК-Т

Конденсаторы типа КПК-М. Подстроечные керамические малогабаритные конденсаторы выпускаются в двух вариантах: Н — для навесного монтажа и П — для печатного монтажа.

КПК-М изготовляются на номинальные рабочие напряжения постоянного тока 350 *в*. Емкость конденсаторов (мин/макс): 4/15, 5/20, 6/25 и 8/30 *пф*; ТКЕ в интервале рабочих температур от —20 до +80° С имеет значения от -200×10^{-6} до -800×10^{-6} *град*$^{-1}$; вес не более 3 *Г*.

Конденсаторы типа КПК-Т. Конденсаторы подстроечные керамические трубчатые представляют собой керамический цилиндр, в котором перемещается винт с большим шагом нарезки (рис. 23, *в*).

КПК-Т используются для работы в миниатюрной радиоаппаратуре и выпускаются нескольких видов. Они предназначены для цепей с рабочим напряжением постоянного тока 500 *в*. Емкость конденсаторов (мин/макс): 1/10, 2/15, 2/20, 2/25 *пф*. ТКЕ в интервале рабочих температур от +5 до +60° С имеет значения $-(200—800) \cdot 10^{-6}$ *град*$^{-1}$; диаметр ротора 8,8 *мм*, длина 29 *мм*.

Конденсаторы типа ММКТ. Подстроечные микроконденсаторы предназначены для микромодульных конструкций и крепления их на микроплате (рис. 24).

ММКТ имеют предельные значения емкости: $C_{мин} = 3$ *пф* и $C_{макс} = 20$ *пф*; допускаемые отклонения емкости от номинала ±1, ±5 и ±10%; номинальное рабочее напряжение от 80 до 160 *в*.

В диапазоне рабочих температур от —55 до +85° С ТКЕ принимает значение $+(200 \pm 800) \cdot 10^{-6}$ *град*$^{-1}$.

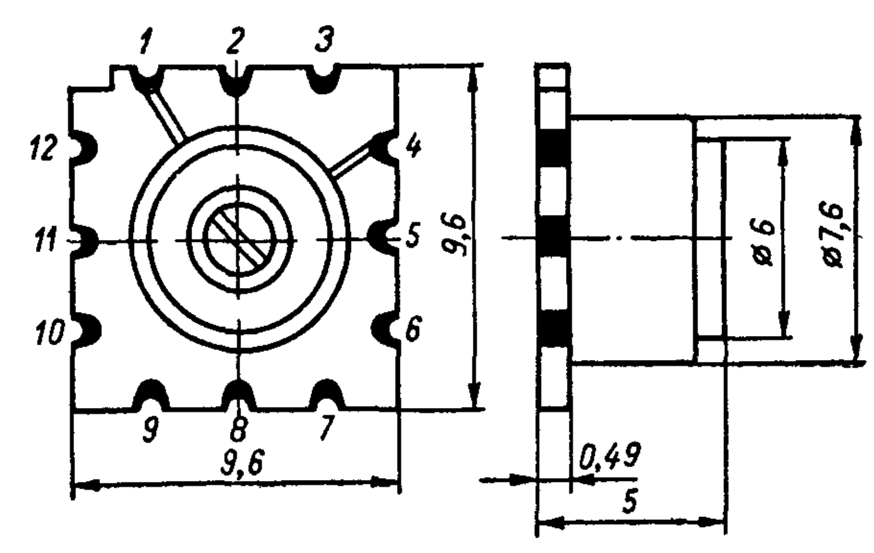


Рис. 24. Подстроечный микромодульный конденсатор типа ММКТ-3/20.

Конденсаторы типа ММКТ с выводами крепятся на микроплате к пазам 1—4. Микроплата имеет размеры 9,6 × 9,6 × 1,5 *мм*, а конденсатор 6 × 6 × 4,7 *мм*.

Обозначения подстроечных и переменных конденсаторов предусмотрены ГОСТ 13453—68.

ГЛАВА ЧЕТВЕРТАЯ

ДРОССЕЛИ И ТРАНСФОРМАТОРЫ

15. Общие сведения

В радиотехнической аппаратуре широко применяются дроссели и трансформаторы высокой и низкой частоты. В некоторых случаях дроссель высокой частоты называют катушкой индуктивности, например, при использовании его в качестве элемента колебательного контура. Можно считать, что:

катушкой индуктивности является радиодеталь, обладающая сосредоточенной индуктивностью L и используемая в качестве элемента колебательного контура;

дросселем высокой частоты — катушка индуктивности, включаемая в цепь тока высокой частоты для увеличения сопротивления цепи;

дросселем низкой частоты является такой же элемент, как и высокочастотный дроссель по своему назначению, но включаемый в цепь переменного тока низкой частоты;

трансформатором называется индуктивно связанная цепь двух катушек индуктивности с целью трансформации одного напряжения в другое, высокой или низкой частоты.

Различие дросселей и трансформаторов высокой и низкой частоты определяется свойствами магнитопровода (сердечника). Как правило, катушки индуктивности не имеют сердечника или содержат высокочастотный магнитопровод. В трансформаторах высокой частоты магнитопровод может также отсутствовать, или он бывает высокочастотным. В трансформаторах низкой частоты применяются низкочастотные магнитопроводы.

16. Параметры высокочастотных дросселей и катушек индуктивности

Основными параметрами высокочастотного дросселя и катушки индуктивности являются: номинальная величина индуктивности L, допускаемое отклонение от номинала ΔL, добротность Q_L, температурный коэффициент индуктивности — ТКИ, собственная емкость C_0 и стабильность параметров. Кроме того, существенное значение имеют линейность характеристики, надежность и другие свойства катушки индуктивности.

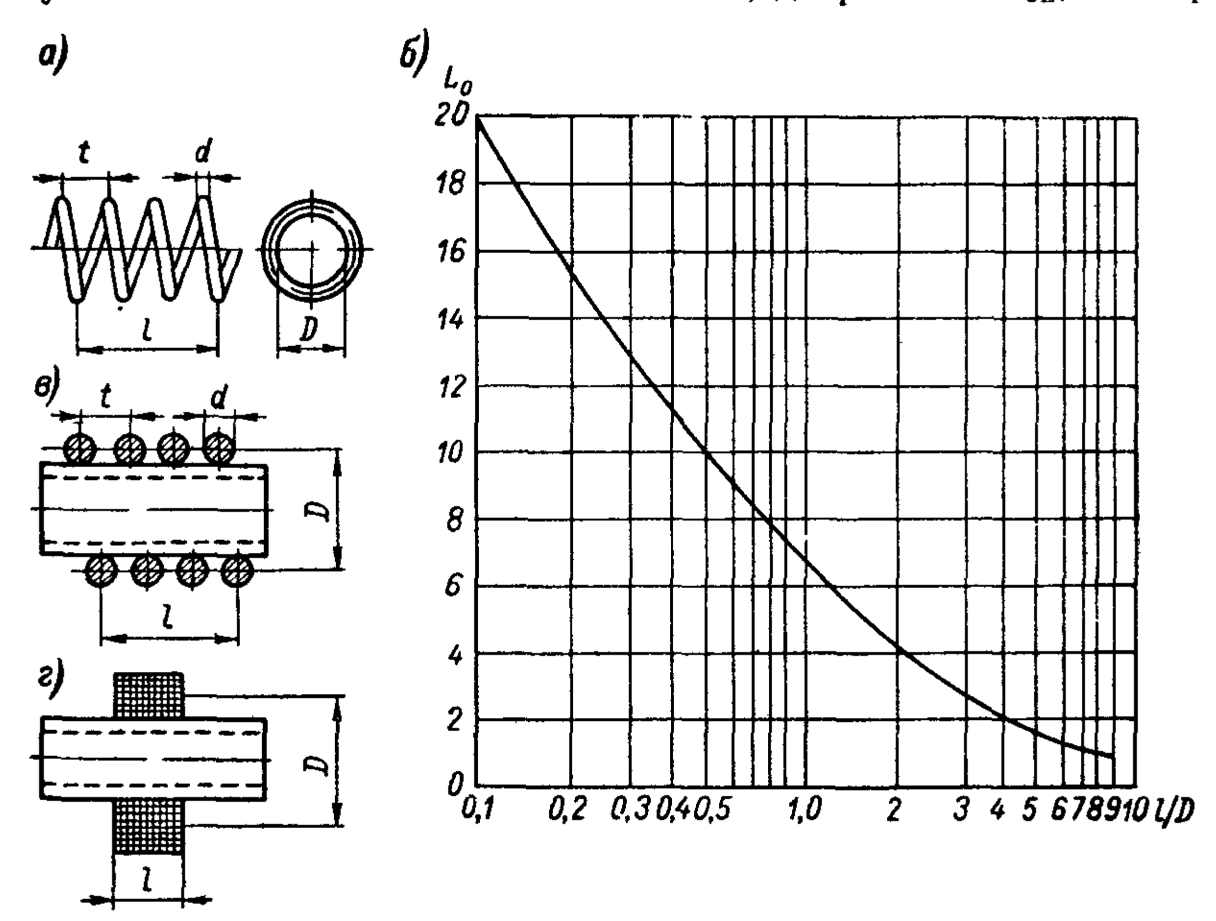


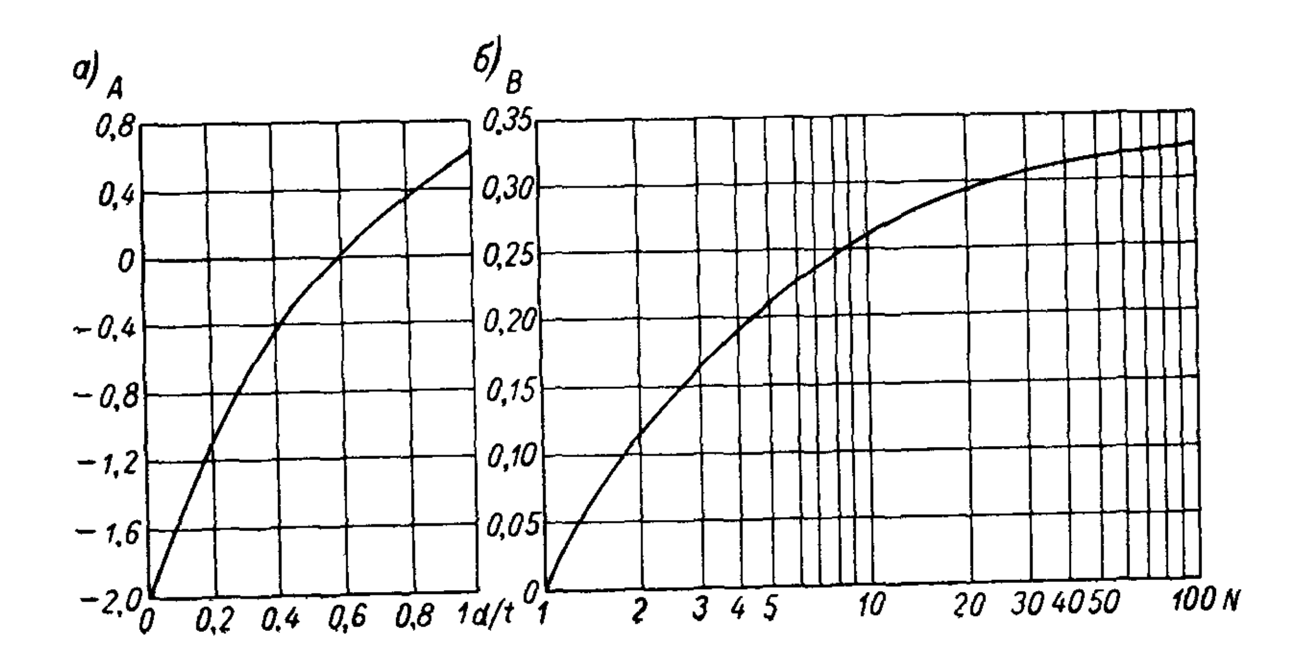
Рис. 25. К расчету индуктивности: *а* — соленоид; *б* — график для определения величины L_0; *в* — однослойная катушка индуктивности с принудительным шагом намотки; *г* — многослойная катушка индуктивности

Номинальная величина индуктивности и допускаемое отклонение от номинала. Расчет катушек индуктивности производится по различным эмпирическим формулам, в зависимости от способа намотки провода. Для катушки индуктивности, выполненной в виде соленоида (рис. 25, *а*), можно воспользоваться выражением:

$$L = \frac{0,1 D^2 N^2}{45D + 100l},$$

где L — номинальная величина индуктивности, *мкгн*; D — диаметр каркаса соленоида, *мм*; N — число витков катушки; l — длина соленоида, *мм*.

Более точно индуктивность такой катушки может быть определена при учете шага намотки.



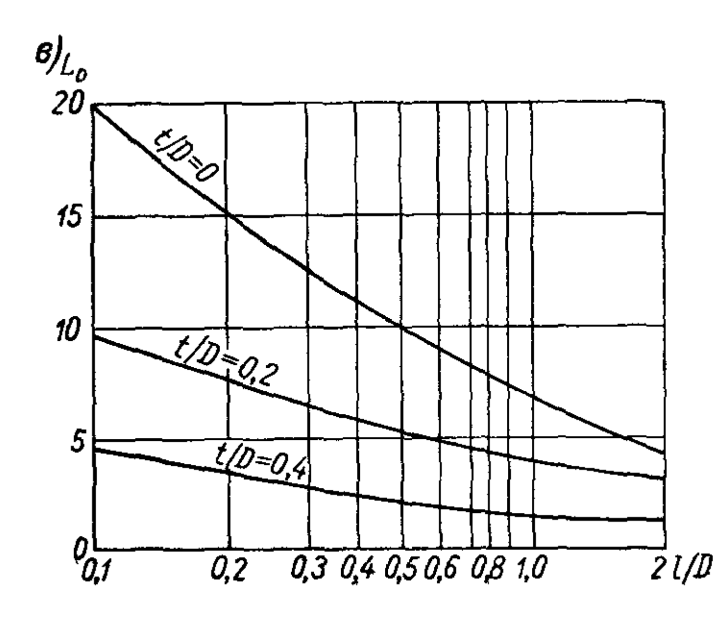


Рис. 26. К определению поправочных коэффициентов для расчета индуктивности: *а* — для определения коэффициента A; *б* — для определения коэффициента B; *в* — для определения индуктивности L_0

Для расчета индуктивности катушки с однослойной сплошной намоткой часто используется формула

$$L = \left(k\pi^2 \frac{D}{l}\right) DN^2 \cdot 10^{-3} = L_0 DN^2 \cdot 10^{-3},$$

где k — поправочный коэффициент; D — диаметр катушки, *см*; N — число витков; l — длина обмотки, *см*; $L_0 = k\pi^2 \cdot D/l$; значение L_0, учитывающее отношение длины к диаметру катушки, определяется по графику (рис. 25, *б*).

Если обмотка катушки выполнена с шагом t, значительно отличающимся от диаметра провода d обмотки (рис. 25, *в*), то индуктивность

$$L_ш = L - 2\pi DN\,(A + B) \cdot 10^{-3},$$

где $L_ш$ — индуктивность катушки при намотке с шагом, *мкгн*; A и B — поправочные коэффициенты, причем A зависит от отношения d/t, а B определяется в зависимости от числа витков обмотки (рис. 26, *а*, *б*).

Если обмотка выполнена многослойной (рис. 25, *г*), то индуктивность катушки подсчитывается по формуле

$$L = L_0 DN^2 \cdot 10^{-3},$$

где L_0 — зависит от соотношений t/D и l/D. Зависимость L_0 от этих величин определяется по графику (рис. 26, *в*).

Номинальная величина индуктивности катушек колебательных контуров определяется в зависимости от резонансной частоты контура:

$$f = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}},$$

где L — индуктивность контура, *гн*; C — емкость контура, *ф*.

$$f = \sqrt{\frac{0{,}02533}{LC}},$$

где f — резонансная частота контура, *Мгц*; L — индуктивность контура, *мгн*; C — емкость контура, *мкф*.

Эти соотношения вытекают из равенства: 1 генри (*гн*) $= 10^3$ *мгн* $= 10^6$ *мкгн*.

Практически номинальная величина индуктивности миниатюрных катушек достигает $400 \cdot 10^3$ *мкгн*. Допускаемое отклонение индуктивности обычно составляет ±5, ±10 и ±15%.

Отклонение от номинала катушек связи и дросселей высокой частоты, которые работают на частотах меньше резонансных, составляет 10—15%.

Добротность. Эффективность действия катушки индуктивности оценивается по величине добротности, которая определяется как отношение индуктивного сопротивления катушки к ее электрическому сопротивлению или эквивалентному сопротивлению потерь.

$$Q_L = \frac{2\pi f L}{R},$$

где f — частота, *гц*; L — индуктивность катушки, *гн*; R — сопротивление катушки, *ом*.

Малогабаритные катушки индуктивности имеют добротность порядка 20—300. Добротность миниатюрных катушек в микромодульном исполнении с номинальным значением индуктивности до 2500 *мкгн* в диапазоне частот 2—15 *Мгц* составляет 50—90. Величина добротности уменьшается с повышением температуры.

Собственная емкость. Эту емкость часто также называют суммарной межвитковой емкостью. Она образуется в результате того, что между двумя ближайшими витками и между каждым витком катушки и ее основанием создается электрическое поле и соответствующая ему емкость. Наличие собственной емкости катушки приводит к изменению параметров контура и катушки. При этом изменяется резонансная частота контура, эквивалентная (действующая) индуктивность катушки, ее добротность и стабильность.

Величина собственной емкости катушки индуктивности зависит от ее конструкции, типа намотки и размеров. Для миниатюрных микромодульных катушек индуктивности $C_0 = 1{,}5—5$ *пф* при номинальных индуктивностях $L = 5—15$ *мкгн*.

ТКИ и стабильность параметров. Стабильность величины индуктивности зависит от температуры, влажности и давления окружающей среды. При этом имеется в виду практически неизменяемое относительное местоположение витков обмотки при допустимых вибрациях и ударных нагрузках. Влияние температуры окружающей среды на величину индуктивности оценивается температурным коэффициентом индуктивности, определяемым соотношением

$$\text{ТКИ} = \frac{\Delta L}{L_0 \Delta t},$$

где ΔL — разность индуктивности при изменении температуры на $\Delta t°$ С; L_0 — значение индуктивности при нормальной температуре.

Таким образом ТКИ определяет относительное изменение индуктивности катушки при изменении температуры окружающей среды на 1° С. Катушки индуктивности обычного типа имеют ТКИ $= \pm(5—10) \cdot 10^{-6}$ *град*$^{-1}$ в интервале рабочих температур от —60 до +80° С.

В связи с тем, что под влиянием влажности стабильность понижается, катушки индуктивности желательно подвергать пропитке, обволакиванию или герметизации. В процессе эксплуатации могут иметь место внезапные и постепенные отказы: пробой изоляции обмоток катушек, нарушение электрического контакта, изменение основных технических характеристик под воздействием температуры и влажности и др. Отказы трансформаторов и дросселей происходят, главным образом, из-за пробоя изоляции и обрыва в обмотке.

Повышение надежности может быть достигнуто за счет тщательного соблюдения технологического процесса изготовления и сборки, а также правильного выбора режима работы.

17. Конструкции катушек индуктивности

Известны конструкции каркасных и бескаркасных катушек индуктивности без сердечников и с сердечниками. Типовые *каркасы* изготовляются обычно для катушек индуктивности довольно больших габаритов. Для этого используется гетинакс, текстолит, пластмасса, керамика и другие изоляционные материалы. Выбор материала зависит от требований, предъявляемых к катушкам. Например, при достаточно жестких требованиях к стабильности индуктивности в диапазонах относительно коротких волн, когда катушка индуктивности содержит небольшое количество витков, применяются керамические каркасы, на которых путем вжигания серебра создается обмотка. При этом сохраняется неизменность взаимного расположения витков обмотки и малая чувствительность к воздействующим на катушку вибрациям и ударным нагрузкам.

Микроминиатюрные катушки индуктивности, как правило, бескаркасные. В большинстве случаев они конструируются с сердечником с целью увеличения индуктивности при сохранении минимальных габаритов. В таком случае обмотка располагается непосредственно на сердечнике.

Сердечники катушек индуктивностей обычно являются магнитопроводами. Часто употребляется термин «сердечник» и для диамагнитных элементов конструкции.

Магнитопроводящие сердечники изготавливаются из высокочастотных магнитных материалов, к которым относятся: альсифер, карбонильное железо, ферриты и др. Материалом диамагнитных «сердечников» служат латунь, медь, алюминий. Эти сердечники предназначены для регулирования индуктивности и взаимоиндуктивности в контурах коротковолнового (КВ) и ультракоротковолнового (УКВ) диапазонов.

Для работы на частотах длинных (ДВ) и средних (СВ) волн применяют сердечники из альсифера марки РЧ-9 или из карбонильного железа Р-8, для работы на КВ — альсифер РЧ-6. Для катушек УКВ используется карбонильное железо марок Р-2 и Р-4.

В контурных катушках индуктивности и дросселях по ГОСТ 10983—64 применяются броневые сердечники из карбонильного железа с замкнутым магнитопроводом типа СБ-а и с разомкнутым магнитопроводом типа СБ-б. Катушки индуктивности с сердечниками СБ-а малогабаритны, обла-

Таблица 14

Тип сердечника	Индуктивность L, *мкгн*	Число витков катушки, W	Среднее значение эффективной магнитной проницаемости, μ_c	Среднее значение добротности катушки, Q	Размеры, *мм*: каркаса d_1	каркаса d_2	каркаса d_3	каркаса h_1	сердечника D_1	сердечника D_2	сердечника D_3	сердечника H_1	сердечника H_2	подстроечника $d \times l$
СБ-12а	1—85	7—70	4,5	135—145	6,2	7	9,5	7,6	6	10	12,3	8,2	10,6	М4 × 11,5
СБ-23-11а	1—1100	5—160	3,7	210—225	11,5	13	16	5,5	10	18,5	23	6,2	11,4	1М7 × 13
СБ-23-17а	20—2350	25—250	4,6—6,5	135—240	11,5	13	17,5	11	11	18	23	12	17	1М7 × 19
СБ-28а	40—4400	30—300	4,7—5,6	185—290	13,5	15	21,5	16	13	22	28	17	23	1М8 × 25

дают большой магнитной проницаемостью и слабым внешним полем, что ослабляет паразитные связи. Броневые сердечники используются на частотах до 5 *Мгц* в различных контурах ДВ и СВ диапазона. Сердечники снабжаются цилиндрическим «подстроечником», с помощью которого можно изменять величину индуктивности на 20—30%.

Промышленностью выпускаются несколько нормализованных типов броневых сердечников из карбонильного железа и ферритов. В табл. 14 приведены основные технические данные этих сердечников с подстроечником типа СБ-а. Указанные в табл. 14 числа витков в катушке относятся к разным маркам проводов. ТКИ для катушек с броневым сердечником из карбонильного железа равен $\pm(60—90) \cdot 10^{-6}$ *град*$^{-1}$.

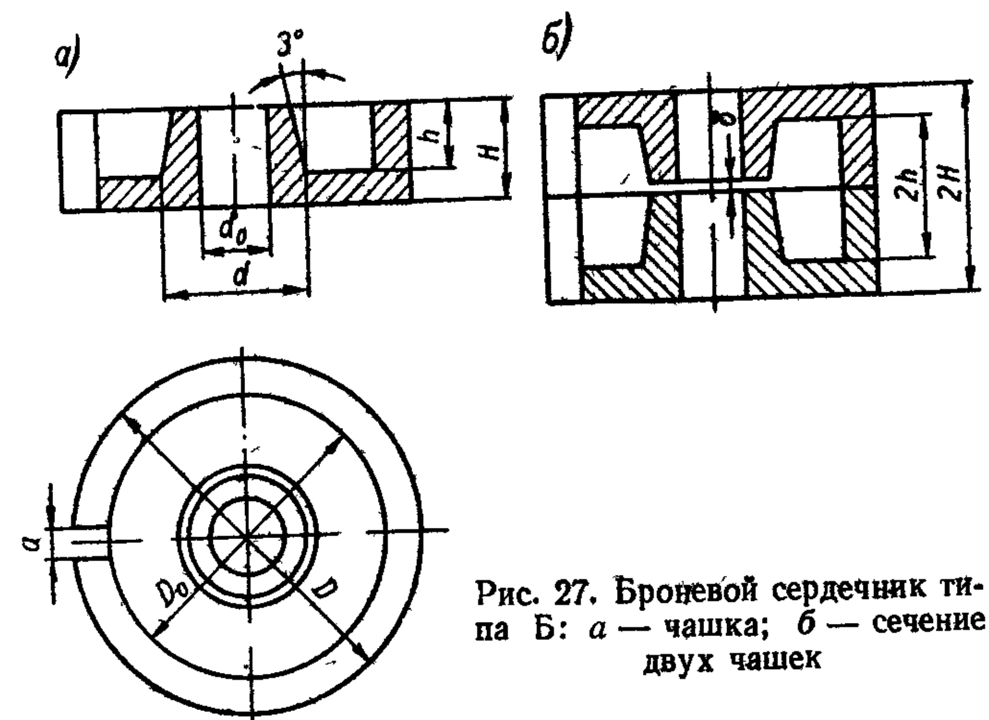


Рис. 27. Броневой сердечник типа Б: *а* — чашка; *б* — сечение двух чашек

В фильтрах промежуточной частоты миниатюрных радиоприемников применяют катушки индуктивности с сердечниками чашечного типа, которые могут быть изготовлены из ферритов марок 50ВЧ, 1000НМ-3 и др. Конструкция броневого сердечника (Б) показана на рис. 27, *а*, *б* и состоит из двух ферритовых чашек. Данные наименьших типоразмеров сердечников приведены в табл. 15.

Зазор между чашками δ может иметь значение нескольких десятых долей *мм* и более. Сердечники применяются с одним или двумя пазами. Для более плавной настройки броневые сердечники снабжаются подстроечниками, которые представляют собой стержень диаметром 0,9—2,5 *мм* длиной 6—12 *мм*. Введение и перемещение их позволяет изменять индуктивность катушки в пределах ±(10—20)%. ТКИ катушек с броневыми сердечниками из альсифера находится в пределах $\pm(1—30) \cdot 10^{-6}$ *град*$^{-1}$, а катушек с ферритовыми сердечниками $\pm(250—300) \cdot 10^{-6}$ *град*$^{-1}$. Добротность катушек с сердечниками из ферритов в 1,5—2 раза больше добротности катушек с сердечниками из карбонильного железа.

Таблица 15

Тип сердечника	Размеры чашек, *мм*							Основные характеристики сердечника		
	D	D_0	d	d_0	a	H	h	средняя длина магнитной линии l_c, *см*	эффективное сечение $S_э$, *см*^{2}	эффективный объем $V_э$, *см*^{3}
Б-6	6,5	5,1	2,7	1,1	0,8	2,8	2	1,073	0,063	0,068
Б-9	9	7,6	3,5	1,9	1,2	2,8	2	1,183	0,089	0,105
Б-11	11	9,4	3,7	1,9	1,5	3,2	2,2	1,352	0,111	0,150
Б-14	14	11,8	6	3,1	2	4,2	2,9	1,902	0,270	0,514
Б-18	18	14	7,4	3,1	2	5,3	3,7	2,289	0,445	1,019

Широкое применение в радиоаппаратуре получили катушки индуктивности, трансформаторы и дроссели с тороидальными (кольцевыми) сердечниками из альсифера и ферритов. Они имеют большое удельное сопротивление, обладают хорошими магнитными свойствами и могут применяться на высоких частотах.

Для изготовления сердечников контурных высокочастотных катушек, трансформаторов и дросселей используются ферриты, имеющие магнитную проницаемость больше единицы.

Применение кольцевых и чашечных сердечников из феррита является эффективным способом получения больших значений индуктивности, увеличения добротности и уменьшения габаритов и веса катушек.

В качестве материала для этих сердечников на частотах до 1 *Мгц* применяются ферриты марок 1000НМ-3 и 1500 НМ-3. Размеры кольца: наружный диаметр $D = 4—20$ *мм*, внутренний диаметр $d = 2,5—12$ *мм*, высота $h = 1,2—6$ *мм*, вес до 6 *Г*.

Кольцевые сердечники из феррита марки 50ВЧ-2 предназначены для использования в области частот до 50 *Мгц*. Их размеры: $D = 4—20$ *мм*, $d = 2,5—10$ *мм*, $h = 1,2—5$ *мм*, вес до 5 *Г*.

Миниатюрные кольцевые сердечники (К) из ферритов марок 2000 НМ, 1500 НМ, 1100 НМ, 50ВЧ-2 и другие имеют наружный диаметр $D = 0,6—6$ *мм*; внутренний диаметр $d = 0,4—3$ *мм*; высоту кольца $h = 0,2—2,8$ *мм*.

Обмотки. Различают однослойные и многослойные обмотки, рядовую, универсальную, секционированную, галетную и др. Эти обмотки могут быть применены в катушках индуктивности обычных и миниатюрных размеров.

Однослойная обмотка с принудительным шагом между витками применяется обычно в контурах КВ и УКВ диапазонов. Катушки имеют добротность 150—300, малую величину собственной емкости и высокую стабильность. Сплошная однослойная обмотка может обеспечить индуктивность более 15—20 *мкгн*. Однослойные катушки контуров и катушки связи могут быть использованы на частотах выше 1500 *кгц*.

Катушки с индуктивностью до 500 *мкгн* и более можно получить многослойной намоткой. Такие катушки обладают большой собственной емкостью и применяются для высокочастотных дросселей, дросселей сглаживающих фильтров и трансформаторов. Наиболее распространена многослойная универсальная обмотка. Конструкция многослойной катушки большой индуктивности имеет значительный диаметр каркаса, а поэтому на частотах ДВ и СВ применяются как односекционные, так и многосекционные обмотки. Секционные обмотки позволяют уменьшить собственную емкость катушки и повысить ее добротность. При этом представляется возможность также уменьшить диаметр и вес катушки.

Для изготовления обмоток обычного типа применяются медные провода с различной изоляцией и без нее. Наиболее распространены провода: изолированный лакостойкой эмалью (ПЭЛ); изолированный высокопрочной эмалью одним и двумя слоями (ПЭВ-1 и ПЭВ-2); изолированный эмалью и одним слоем обмотки из хлопчатобумажной пряжи (ПЭЛБО); изолированный эмалью и одним слоем из натурального шелка (ПЭЛШО) и др.

Для катушек с небольшой индуктивностью применяют сплошную однослойную намотку проводом ПЭЛ, ПЭВ, ПЭШО и др. К специальным обмоточным проводам, применяемым на частотах от 50 *кгц* до 2 *Мгц*, а также для катушек с индуктивностью порядка 100—200 *мкгн*, относится многожильный провод типа литцендрат марок ЛЭШО и ЛЭШД с эмалированными жилами диаметром 0,05—0,1 *мм*, изолированными шелковой обмоткой в один или два слоя. Обмотка катушек ферритовых сердечников может производиться высокопрочным эмалированным теплостойким проводом марки ПЭВТЛ.

В качестве иллюстрации в табл. 16 приведены данные обмоток миниатюрных катушек индуктивности с ферритовыми сердечниками, выполненными проводом ПЭВТЛ-2.

В миниатюрных катушках индуктивности роль проводников могут также выполнить металлические дорожки, нанесенные на каркас химическим осаждением меди или вжиганием серебра в керамику.

В радиотехнической аппаратуре катушки часто помещают в специальный кожух-экран, устраняя паразитные связи, которые вызываются внешним электромагнитным полем. Наряду с этим, наличие экрана уменьшает индуктивность и добротность катушки. Таким образом, различают экранированные и неэкранированные катушки индуктивности.

Таблица 16

Номинальная индуктивность, *мкгн*	Марка феррита	Диаметр провода, *мм*	Число витков
0,5—2,5	10ВЧ	0,15	25—56
3—16	30ВЧ	0,1	36—82
20—100	50ВЧ2	0,1	58—130
160—630	100НН1	0,08	90—148
1000—2500	2000НМ1	0,1	50—80

Для плавной настройки контуров в широком диапазоне применяются катушки переменной индуктивности, имеющие сравнительно большие габариты и вес.

В последнее время уделяется большое внимание унификации катушек индуктивности и их микроминиатюризации. Миниатюрные катушки индуктивности получили широкое применение в печатных платах и в микромодульных конструкциях радиотехнической аппаратуры. Они могут иметь цилиндрический ферритовый сердечник, на который наматывается провод малого диаметра. Индуктивность таких катушек находится в пределах от десятых и сотых долей *мкгн* до нескольких сотен и тысяч *мкгн* с добротностью 20—30 и более.

Катушки индуктивности типа ИФМ. В микромодульных конструкциях применяются микроэлементы с постоянной индуктивностью, имеющие ферритовые кольцевые сердечники типа ИФМ. Они предназначены для работы в цепях постоянного и переменного тока до 5 *ма*. Диапазон рабочих температур от —60 до +85° С. На рис. 28, *а* представлена катушка этого типа. Сердечник с обмоткой крепится на микроплате и защищается колпачком. Выводы катушки припаиваются к металлизированным пазам микроплаты *1—4*, *1—5* или *1—8*.

Кольцевой сердечник ИФМ изготовляется из феррита марки 20ВЧ, 50ВЧ, 100НН или 2000НМ и, в зависимости от номинального значения индуктивности, имеет размеры: наружный диаметр $D = 4—7$ *мм*; внутренний $d = 2,5—4,5$ *мм*, высота кольца $h = 2,4—3,5$ *мм*. Для намотки применяется провод ПЭВ-1 или ПЭВТЛ-2 диаметром 0,05—0,1 *мм*. Высота ИФМ достигает 4,5 *мм*; вес микроэлемента — 0,3—0,4 *Г*.

В зависимости от номинальной величины индуктивности ИФМ делятся на шесть групп; 1—2,5; 3—16; 20—50; 6 —100; 160—630 и 1000—2500 *мкгн*. Допускаемые отклонения от номинала ±5 и ±10%. Добротность составляет 15—45. Значение ТКИ в интервале температур от —60 до +20° С находится в пределах ± (1—

—7,5) · 10^{-3} *град*$^{-1}$, а в интервале от +20 до +85° С ТКИ = ± (1—3,7) · 10^{-3} *град*$^{-1}$.

Катушки индуктивности типа МКИ и МКИП. Микромодульные катушки индуктивности постоянные (МКИ) и переменные (МКИП) имеют ферритовый чашечный сердечник. Они предназначены для работы на постоянном и переменном токе в цепях с максимальным напряжением до 100 *в*, при токе нагрузки до 5 *ма*. Интервал рабочих температур от —60 до +85° С.

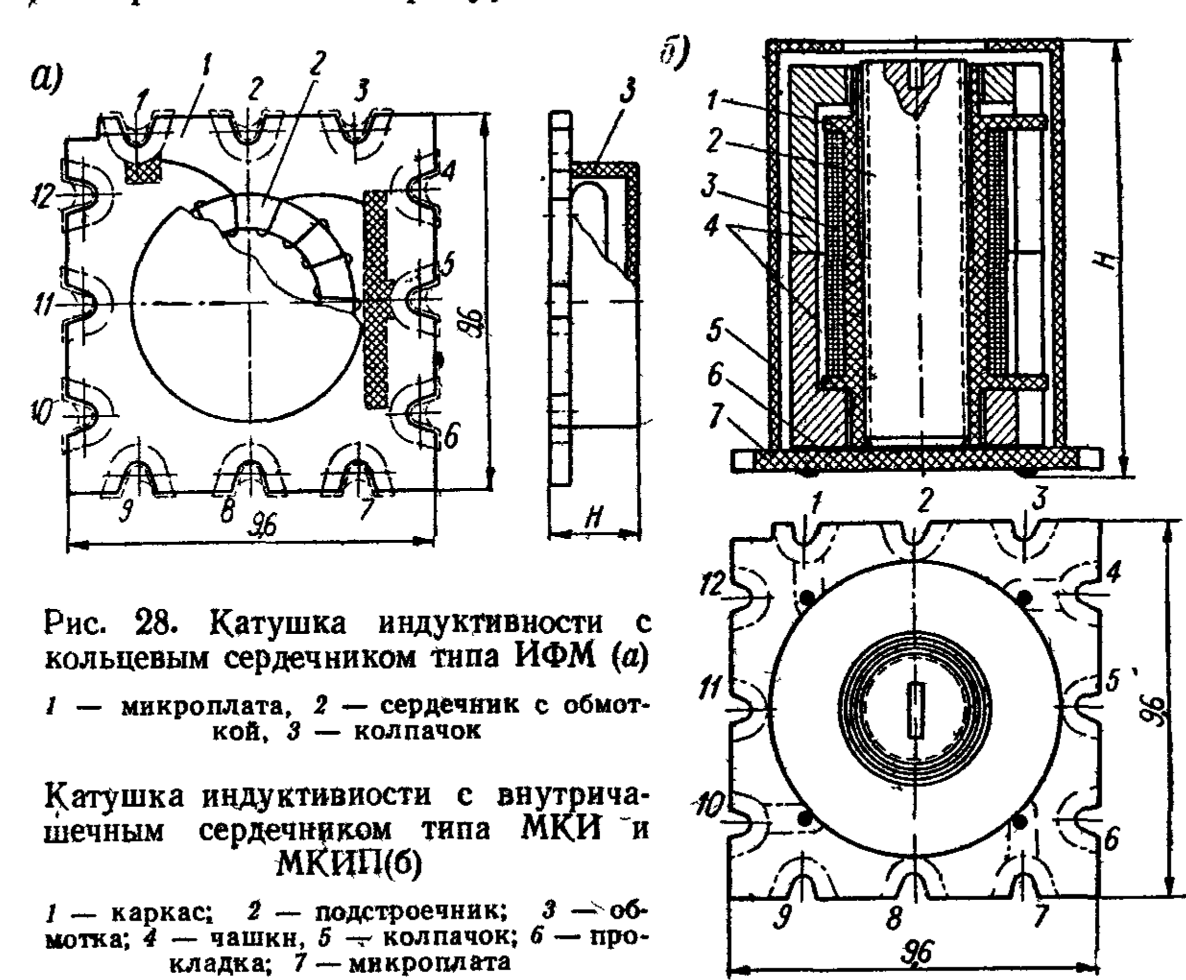


Рис. 28. Катушка индуктивности с кольцевым сердечником типа ИФМ (*а*)

1 — микроплата, *2* — сердечник с обмоткой, *3* — колпачок

Катушка индуктивности с внутричашечным сердечником типа МКИ и МКИП(*б*)

1 — каркас; *2* — подстроечник; *3* — обмотка; *4* — чашки, *5* — колпачок; *6* — прокладка; *7* — микроплата

МКИ и МКИП выполняются в виде микроэлементов (рис. 28, *б*) и подключаются к контактным пазам микроплаты *1—4*, *1—5* или *1—8*; высота их 9,8—12,5 *мм*; вес — 1,5—1,8 *Г*.

Сердечники микромодульных катушек индуктивности изготовляются из ферритов марок 50ВЧ-2 для индуктивностей от 1—315 *мкгн* и 1000НМ-3 для групп индуктивностей 400—1000; 1250—315000 *мкгн*. Допускаемые отклонения от номинала ±5 и ±10%. С помощью подстроечника можно изменять величину индуктивности в пределах ±10—15%. Добротность МКИ и МКИП от 30 до 80; ТКИ в интервале рабочих температур от —60 до +20° С колеблется в пределах от —200 до +800 · 10^{-6} *град*$^{-1}$, а при температурах от +20 до +85° С от —100 до +600 · 10^{-6} *град*$^{-1}$.

Катушки индуктивности типа МКИ-3 и МКИП-3. По своей конструкции эти катушки аналогичны микроэлементным, но они выпускаются в виде залитых компаундом модулей и предназначаются для работы в интервале температур от —60 до +85° С в цепях

постоянного и переменного тока с максимальным напряжением 100 *в* при токе нагрузки до 5 *ма*. Их основные электрические характеристики такие же, как у катушек индуктивности МКИ и МКИП. Микромодульная катушка индуктивности имеет высоту h = 16,5—20,5 *мм*; вес 5,0—6,2 *Г*.

Печатные катушки индуктивности. В радиотехнической аппаратуре, наряду с обычными конструкциями катушек индуктивности применяются плоские печатные катушки. Они изготовляются аналогично печатному монтажу и применяются в цепях относительно низких частот. На плоском основании — плате из ди-

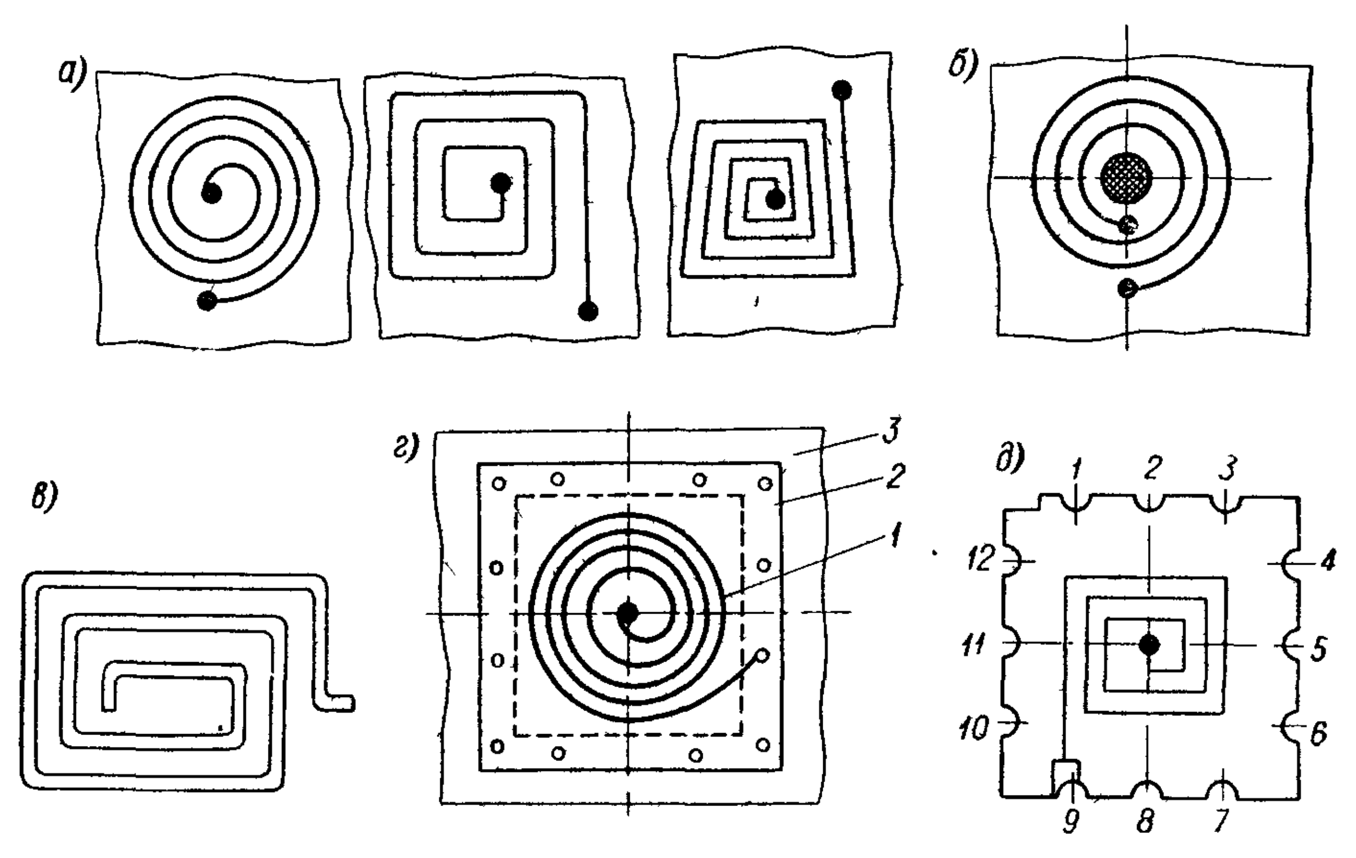


Рис. 29. Печатные катушки индуктивности

электрика — наносятся токопроводящие линии в виде многовитковой спирали, образуя катушку. На рис. 29, *а* представлены некоторые конструктивные формы катушек.

Печатные постоянные катушки ограничены по номиналу, который зависит от количества витков и размеров печатного проводника спирали. При толщине проводника 40 *мкм*, ширина его выполняется в пределах 0,5 — 1 *мм*. Индуктивность катушек не превышает 10 *мкгн* на площади в 1 *см*^{2}. Допускаемое отклонение от номинала 2—5%. Добротность плоских печатных катушек обычно ниже добротности катушек, имеющих обмотку из провода, а также меньше, чем у цилиндрических катушек с металлизированными дорожками. Так на частотах до 30 *Мгц* она составляет 100—120. Собственная емкость печатных катушек индуктивности зависит от ширины спиральных витков, расстояния между ними и материала платы и составляет 3—5 *пф*.

Повышение величины индуктивности может быть достигнуто нанесением ряда спиральных катушек с последовательным соединением их или печатанием катушек индуктивности на двух сторонах платы с последующим соединением этих катушек. Однако, в тех случаях, когда в печатной схеме применяются объемные (навесные) радиодетали и используются механизированные способы паяния (погружением, волной и т. д.) печатание катушек на обеих сторонах основания невозможно.

Другими способами увеличения индуктивности является многослойная печать, применение магнитных материалов, заполнение центрального участка спирали магнитной пастой или краской (рис. 29, *б*).

Известен также способ изготовления индуктивно связанных катушек. Для этого спиральные катушки наносятся на пленки, которые складывают в пакет, образуя магнитосвязанную катушку. Снабдив пакет отверстием, в котором сможет перемещаться сердечник из магнитодиэлектрика, можно повысить индуктивность. Высокий коэффициент связи можно получить, используя бифилярную намотку (рис. 29, *в*).

На рис. 29, *г* представлена катушка индуктивности *1*, нанесенная на поверхность пленки *2*, которая укреплена на плате *3*, имеющей окно. Токопроводящие спиральные линии получены методом травления алюминия, предварительно нанесенного на поверхность пленки. С целью снижения омического сопротивления катушки поверх алюминиевого слоя наносится слой серебра или меди.

Печатные катушки индуктивности могут быть получены и переменной величины. В этом случае нанесенную на диэлектрик спираль пересекает плоскость вращающегося диска с металлизированным сектором, который перекрывает часть витков печатной катушки.

Из большого количества плоских спиральных катушек, которые нанесены на пленки и соединены между собой, может быть изготовлена обмотка трансформаторов. При этом большое распространение получил метод травления медной фольги, предварительно нанесенной на диэлектрик.

На рис. 29, *д* представлена катушка индуктивности микроэлемента, выполненная на микроплате. Катушки индуктивности, получаемые методами изготовления печатного монтажа, могут быть нанесены на поверхности пленок, которые затем крепятся на плату. Материалом пленки, имеющей толщину 20—30 *мкм*, может явиться продукт полиэфира-терефталевой кислоты, а материалом для платы — гетинакс, керамика, стеклотекстолит и другие диэлектрики.

18. Общая характеристика низкочастотных дросселей и трансформаторов

Среди разнообразных низкочастотных дросселей и трансформаторов различают: дроссели сглаживающих фильтров; трансформаторы низкой (звуковой) частоты; силовые трансформаторы промышленной (50 *гц*) и повышенной частоты (400 и 1000 *гц*). В зависимости от назначения трансформатора и дросселя к ним предъявляются различные требования. Общим для всех низкочастотных дросселей и трансформаторов является их конструкция, основными элементами которой является магнитопровод и обмотка.

Особенностью режима работы дросселей сглаживающих фильтров является возможность протекания через них постоянного и переменного тока, причем постоянная составляющая тока намагничивает сердечник. Поэтому одним из основных требований является неизменность величин индуктивности $L_{др}$ при протекании тока I_0, изменяющегося по величине в 1,5—2 раза. В таких дросселях применяют неполностью замкнутый магнитопровод. Основными параметрами подобного дросселя являются индуктивность $L_{др}$, номинальный ток нагрузки I_0 и величина $I_0^2 L_{др}$, основная частота пульсации тока $f_п$.

Особенностью режимов работы трансформаторов низкой частоты, в том числе входных и выходных, является наличие или отсутствие постоянного подмагничивания. Оно имеет место в случае, если трансформатор включен в цепь электронной лампы или транзистора в однотактных схемах усиления. В двухтактных схемах усиления постоянное подмагничивание отсутствует. Основными параметрами таких трансформаторов можно считать напряжение на первичной и вторичной обмотках U_1 и U_2; токи в обмотках I_1 и I_2; частоты $f_1 - f_2$; к. п. д.; индуктивности L_1 и L_2 цепей и их индуктивности рассеяния L_{s_1} и L_{s_2}; собственные емкости цепей C_1 и C_2, а также межобмоточную емкость C_{1-2}

Особенность режима работы силовых трансформаторов определяется схемой выпрямителя и характером нагрузки. Основными параметрами силовых трансформаторов являются токи и напряжения всех обмоток; расчетная мощность $S_т$; частота рабочего тока — $f_с$; к. п. д.

Для всех низкочастотных дросселей и трансформаторов важными показателями являются вес, габариты, надежность работы.

19. Магнитопроводы дросселей и трансформаторов

Магнитопроводы изготовляются из магнитномягких материалов, обладающих высокой магнитной проницаемостью, небольшим значением коэрцитивной силы, малыми потерями на гистерезис и вихревые токи. В качестве таких материалов используются электротехническая (трансформаторная) сталь, железо-никелевые сплавы (пермаллои), а также и ферриты.

По технологии изготовления магнитопроводы можно разделить на пластинчатые, ленточные и прессованные. По конструкции магнитопроводы разделяются на броневые, стержневые и тороидальные.

Пластинчатые магнитопроводы получают набором штампованных пластин Ш, П и Г-образной формы. Из них создаются броневые

и стержневые магнитопроводы, причем для дросселей сглаживающих фильтров пластины собираются в пакет «встык», а для трансформаторов — «вперекрышку». Для набора магнитопровода используются основные и замыкающие пластины, которые получают методом «безотходной штамповки» из листов электротехнической стали марок Э41, Э42, Э43 толщиной 0,1—0,35 *мм*.

Наряду с горячекатаной электротехнической сталью используется холоднокатаная сталь марок Э310, Э320 и Э330 толщиной 0,35—0,5 *мм*. Эту сталь часто называют текстуированной, что указывает на фиксированное направление прокатки. При совпадении направления прокатки с магнитными силовыми линиями резко повышаются магнитные свойства магнитопровода.

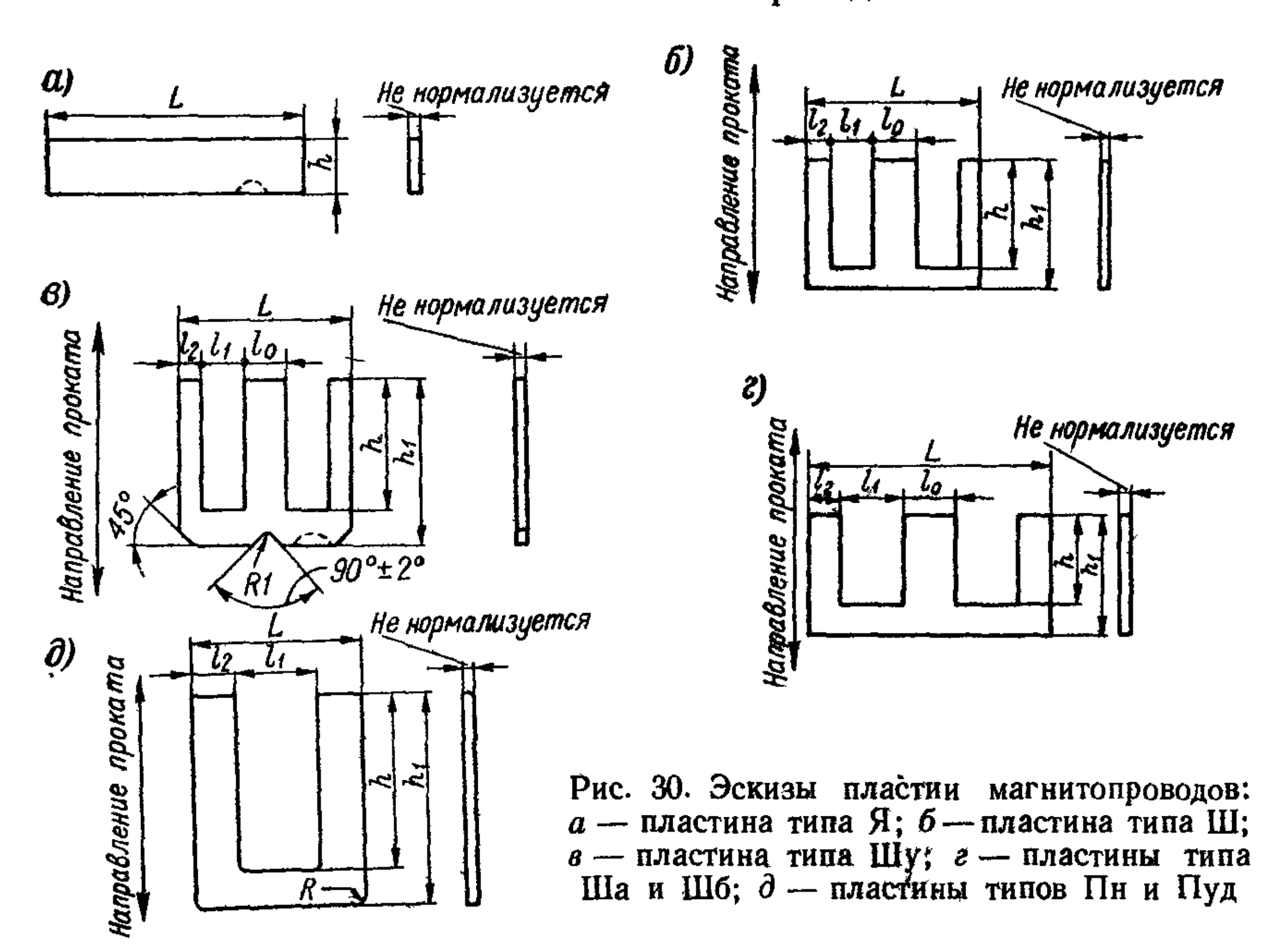


Рис. 30. Эскизы пластин магнитопроводов: *а* — пластина типа Я; *б* — пластина типа Ш; *в* — пластина типа Шу; *г* — пластины типа Ша и Шб; *д* — пластины типов Пн и Пуд

Для трансформаторов повышенной частоты используется электротехническая сталь марок Э44, Э46 и Э48, толщиной 0,1—0,35 *мм*.

Пластинчатые магнитопроводы изготовляют также из пермаллоя 45Н, 80НХС, 79НМ и др. марок, толщиной 0,05—0,15 *мм*.

Одна из сторон каждой пластины магнитопровода изолируется от другой пластины бесцветным лаком или кремнийорганической пленкой для уменьшения потерь. Поэтому при сборке пакета магнитопровода его активное сечение меньше геометрического и характеризуется коэффициентами заполнения $k_з = 0,72—0,95$. Стягивается пакет при помощи скоб, стяжных болтов или шпилек, причем предусматривается невозможность короткого электрического замыкания его пластин.

В табл. 17 даны размеры броневых и стержневых малогабаритных пластин Ш- и П-образной форм. Их принято подразделять на Ш, Шу, Ша, Шб, Пн и Пуд — пластины. Внешний вид этих пластин показан на рис. 30, *а—д*. Они отличаются между собой шириной окна и высотой среднего стержня.

В зависимости от типа пластин, из которых собираются сердечники, они подразделяются на ША — из пластин Ш; ШБ — из пластин Шу; ШВ — из пластин Ша и Шб; ПА — из пластин Пн; ПБ — из пластин Пуд. В табл. 18 приведены данные броневых пластинчатых магнитопроводов типа ША.

В табл. 19 приведены данные пластинчатых магнитопроводов типа ШБ, ШВ, ПА и ПБ.

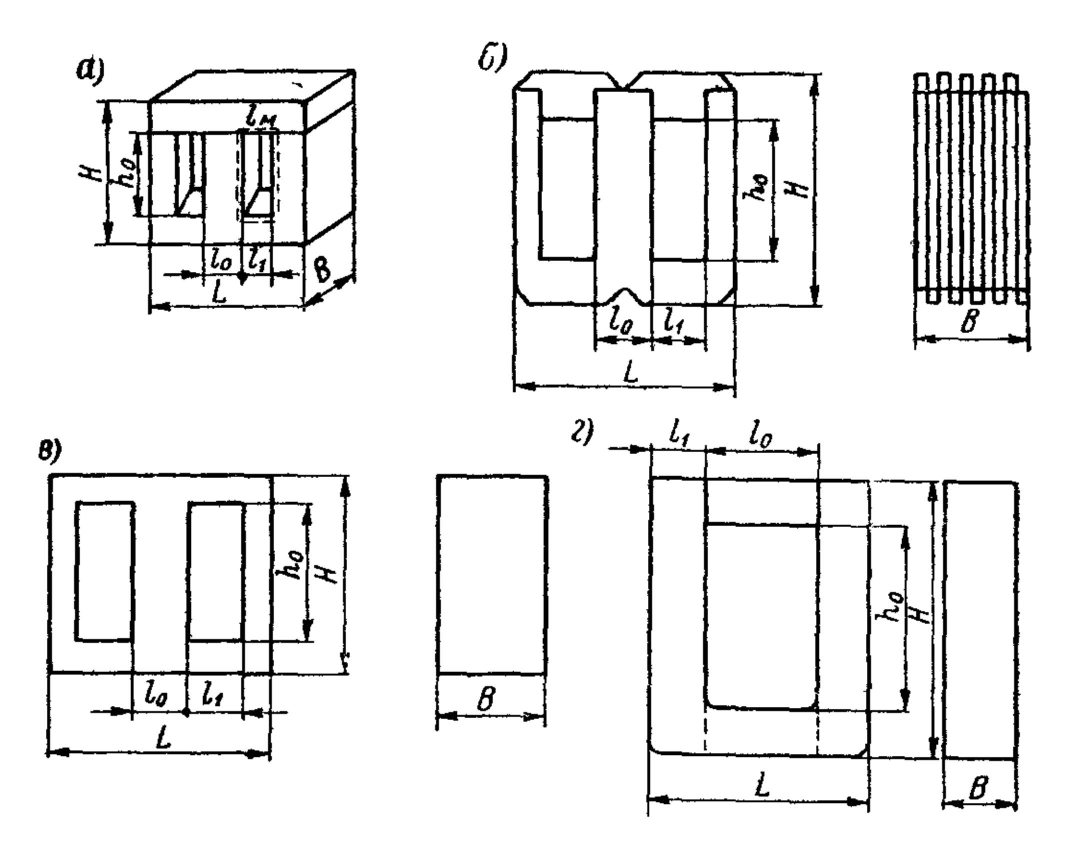


Рис. 31. Эскизы броневых и стержневых магнитопроводов типа: *а* — ША; *б* — ШБ; *в* — ШВ; *г* — ПА и ПБ

Эскизы магнитопроводов, данные которых приведены в табл. 18 и 19, показаны на рис. 31, *а—г*.

Ленточные витые магнитопроводы могут быть также изготовлены броневого, стержневого и тороидального вида. Как правило, при этом броневые и стержневые магнитопроводы являются разрезными. Витые ленточные магнитопроводы изготовляются из электротехнической стали Э310, Э320 и Э330 толщиной 0,08—0,1 *мм*. При работе в слабых электрических полях применяется лента из пермаллоя марок 50НП, 65НП, 79НМ и др., толщнной 0,02 *мм* и более.

Очищенная и обезжиренная лента необходимых размеров изолируется тальком, маршалитом или оксидированным слоем.

Хорошую изоляцию обеспечивает электрофорезный метод. Новым методом является нанесение изоляции механическим накаты-

Таблица 17

Обозначение пластин	Размеры пластин, *мм*					
	L	l_0	l_1	l_2	h	h_1
Ш2	8	2	2	1	5	6
Ш2,5	10	2,5	2,5	1,25	6,25	7,5
Ш3	12	3	3	1,5	7,5	9
Ш4	16	4	4	2	10	12
Ш5	20	5	5	2,5	12,5	15
Ш6	24	6	6	3	15	18
Ш8	32	8	8	4	20	24
Ш10	40	10	10	5	25	30
Шу2	8	2	2	1	7	9
Шу2,5	10	2,5	2,5	1,25	8,5	11
Шу3	12	3	3	1,5	9,5	12,5
Шу4	16	4	4	2	12	15,5
Шу5	20	5	5	2,5	15	19,5
Шу6	24	6	6	3	18	23
Шу8	32	8	8	4	24	31
Шу10	40	10	10	5	30	38
Ша2 Шб2	10	2	2,5	1,5	2,5 4	4 5,5
Ша3 Шб3	14	3	3,5	2	3 5	5 7
Ша4 Шб4	19	4	5	2,5	3 7	5,5 9,5
Пн1,5	6	—	3	1,5	6	7,5
Пн2 Пуд2	8	—	4	2	8 10	10 12
Пн3 Пуд3	12	—	6	3	12 15	15 18
Пуд4 Пн5	16 20	— —	8 10	4 5	20	24 25
Пн6 Пуд6	24	—	12	6	24 30	30 36

Таблица 18

Обозначение магнитопровода	Размеры сердечника, *мм*						Технические данные сердечника		
	L	l_0	l_1	h_0	H	B	площадь сечения S, *см²*	средняя длина витка обмотки l_c, *см*	длина магнитной силовой линии $l_м$, *см*
ША 2 × 2,5 ША 2 × 4	8	2	2	5	7	2,5 4	0,04 0,06	1,5 1,9	1,7 1,7
ША 2,5 × 3,2 ША 2,5 × 5	10	2,5	2,5	6,25	8,75	3,2 5	0,06 0,11	1,9 2,2	2,13 2,13
ША 3 × 4 ША 3 × 6,3	12	3	3	7,5	10,5	4 6,3	0,10 0,16	2,3 2,8	2,65 2,65
ША 4 × 4 ША 4 × 5 ША 4 × 6 ША 4 × 8	16	4	4	10	14	4 5 6 8	— 0,17 — 0,27	— 3,0 — 3,7	— 3,4 — 3,4
ША 5 × 6,3 ША 5 × 10	20	5	5	12,5	17,5	6,3 10	0,27 0,42	3,8 4,5	4,25 4,25
ША 6 × 8 ША 6 × 12,5	24	6	6	15	21	8 12,5	0,41 0,64	4,7 5,6	5,1 5,1
ША 8 × 10 ША 8 × 16	32	8	8	20	28	10 16	0,68 1,10	6,0 7,1	6,8 6,8

Обозначение магнитопровода	Размеры сердечника, *мм*					
	L	l_0	l_1	h_0	H	B
ШБ 2 × 2,5	8	2	2	5	9	2,5
ШБ 2 × 4						4
ШБ 2,5 × 3,2	10	2,5	2,5	6,25	11,25	3,2
ШБ 2,5 × 5						5
ШБ 3 × 4	12	3	3	7,5	13,5	4
ШБ 3 × 6,3						6,3
ШБ 4 × 5	16	4	4	10	17	5
ШБ 4 × 8						8
ШБ 5 × 6,3	20	5	5	12,5	21,5	6,3
ШБ 5 × 10						10
ШБ 6 × 8	24	6	6	15	25	8
ШБ 6 × 12,5						12,5
ШБ 8 × 10	32	8	8	20	34	10
ШБ 8 × 16						16
ШБ 10 × 12,5	40	10	10	25	41	12,5
ШБ 10 × 16						16
ШБ 10 × 20						20
ШВ 2 × 2,5	10	2	2,5	6,5	9,5	2,5
ШВ 2 × 4						4
ШВ 3 × 4	14	3	3,5	8	12	4
ШВ 3 × 6,3						6,3
ШВ 4 × 4	19	4	5	10	15	4
ШВ 4 × 8						8
ПА 1,5 × 1,5	6	3	1,5	4,5	7,5	1,5
ПА 1,5 × 3						3

Обозначение магнитопровода	Размеры сердечника, *мм*					
	L	l_0	l_1	h_0	H	B
ПА 2 × 4	8	4	2	6	10	4
ПА 3 × 3	12	6	3	9	15	3
ПА 3 × 6						6
ПА 5 × 5	20	10	5	15	25	5
ПА 5 × 10						10
ПА 6 × 6	24	12	6	18	30	6
ПА 6 × 12						12
ПБ 2 × 2	8	4	2	8	12	2
ПБ 2 × 4						4
ПБ 3 × 3	12	6	3	9	15	3
ПБ 3 × 6						6
ПБ 4 × 4	16	8	4	16	24	4
ПБ 4 × 8						8
ПБ 6 × 6	24	12	6	24	36	6
ПБ 6 × 12						12

ванием на ленту суспензии окиси алюминия или магния. На витки магнитопровода могут быть нанесены изоляционно-склеивающие вещества на основе жидкого стекла и стеклоэмалей.

Магнитопроводы получают навивкой ленты на оправки требуемой формы. Для обеспечения большей прочности их подвергают пропитке склеивающими веществами типа БФ-4, компаундами и др.

Витые ленточные магнитопроводы позволяют снизить размеры и вес трансформаторов. При этом представляется возможным механизировать и автоматизировать технологический процесс изготовления трансформаторов. Ленточные сердечники обладают высокими магнитными свойствами, малым потоком рассеяния и большим коэффициентом заполнения (0,85—0,95).

Высокие качества ленточных сердечников обусловили их широкое применение в силовых и импульсных трансформаторах; в трансформаторах и дросселях низкой частоты.

В табл. 20 приведены основные данные ленточных магнитопроводов броневого типа ШЛ

Таблица 20

Обозначение магнитопровода	Размеры сердечника, *мм*						Технические данные		
	L	l_0	l_1	h_0	H	B	площадь сечения S *см²*	средняя длина витка обмотки l_c, *см*	длина магнитной силовой линии $l_м$, *см*
ШЛ 6 × 6,5	24	3	6	15	21	6,5	0,34	4,40	5,1
ШЛ 6 × 8						8	0,41	4,70	
ШЛ 6 × 10						10	0,52	5,10	
ШЛ 6 × 12,5						12,5	0,65	5,60	
ШЛ 8 × 8	32	4	8	20	28	8	0,55	5,80	6,8
ШЛ 8 × 10						10	0,69	6,20	
ШЛ 8 × 12,5						12,5	0,86	6,70	
ШЛ 8 × 16						16	1,10	7,70	
ШЛ 10 × 10	40	5	10	25	35	10	0,87	7,20	8,5
ШЛ 10×12,5						12,5	1,09	7,70	
ШЛ 10 × 16						16	1,39	8,40	
ШЛ 10 × 20						20	1,74	9,20	
ШЛ 12×12,5	48	6	12	30	42	12,5	1,31	8,70	10,2
ШЛ 12 × 16						16	1,68	9,40	
ШЛ 12 × 20						20	2,10	10,20	
ШЛ 12 × 25						25	2,63	11,20	

Эскизы ленточных магнитопроводов показаны на рис. 32, *а—г*.

В последнее время применяются так называемые м и к р о н н ы е с е р д е ч н и к и, которые представляют собой ленточный витой магнитопровод из пермаллоя марок 79НМ, 38НС или 50НП. Они предназначаются для миниатюрных импульсных трансформаторов и должны обеспечивать надежную работу в условиях изменения температуры от —60 до +100° С.

На рис. 32, *г* представлен микронный сердечник, состоящий из опорного каркаса *1*, на который намотана лента *2*, закрытая колпачком *3*. Магнитопровод имеет 10 типоразмеров: диаметр каркаса D от 3,1 до 7,7 *мм*; диаметр отверстия d от 1,5 до 5 *мм*; длина каркаса L от 2 до 9 *мм*. Толщина ленты для обмотки от 3 до 10 *мкм*, число витков — 40.

Прессованные магнитопроводы. Они нашли широкое применение в трансформаторах и дросселях высокой частоты. В качестве материалов для магнитопроводов используются магнитодиэлектрики.

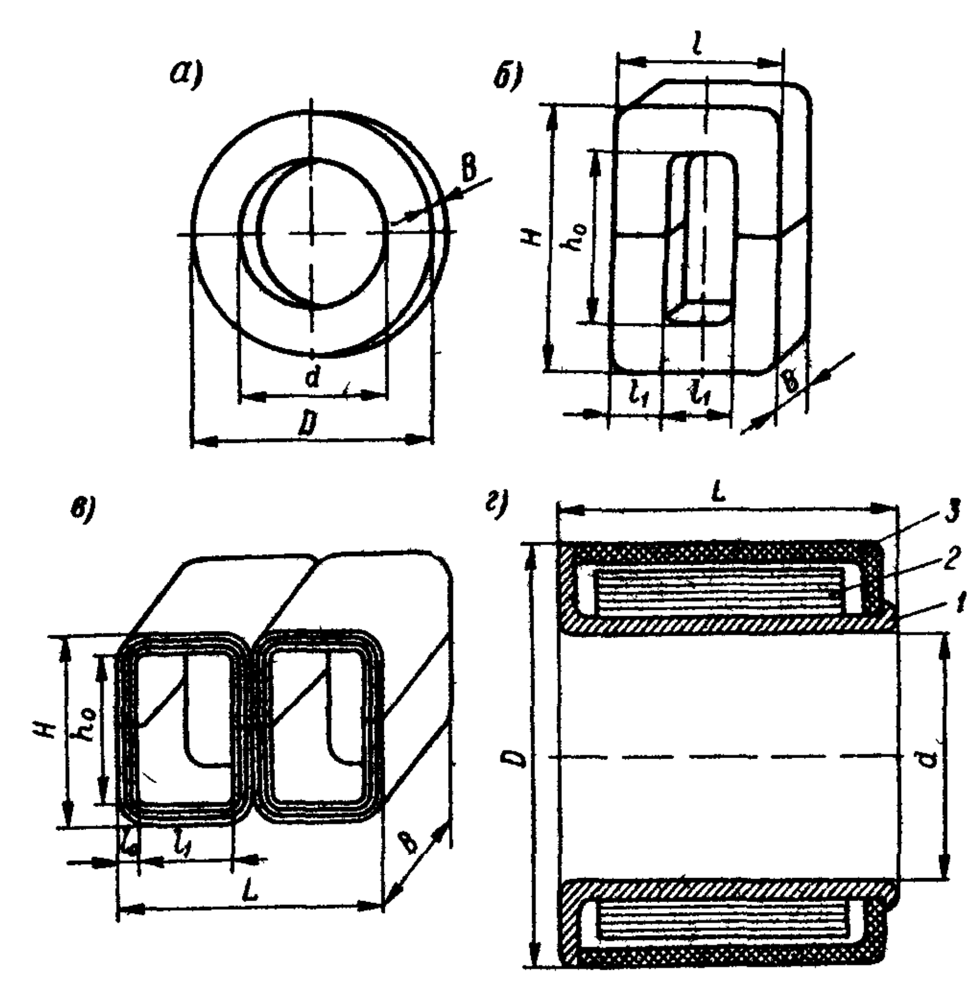


Рис. 32. Эскизы ленточных магнитопроводов: *а* — тороидальный; *б* — О-образный разрезной; *в* — броневой; *г* — микронный

Большое применение получили альсиферы, имеющие высокую начальную магнитную проницаемость μ_0 и большое удельное сопротивление. В радиотехнической аппаратуре для работы на частоте 10—50 *кгц* используются альсиферы марок ТЧ-60Р, ТЧК-55Р и ВЧ-32Р; при работе на частоте 100 *кгц* применяется альсифер типа ВЧ-22Р и ВЧК-22Р. К магнитодиэлектрикам относится также карбонильное железо типа Р-2, Р-4, Р-8 и др., которые применяются на частотах до 100 *Мгц*. Наиболее широкое распространение получили высокочастотные и низкочастотные ферриты. Из высокочастотных это ферриты марок 10ВЧ, 30ВЧ и 50ВЧ; из низкочастотных — 400НН, 600НН и ферриты марок 1000НМ, 2000НМ и др.

В телевизионной аппаратуре применяются трансформаторы с магнитопроводами из оксидных ферромагнетиков типа 1000НМ,

3000НМ и др., которые обладают высокой магнитной проницаемостью и малыми электрическими потерями. Из них изготавливают цельные и сборные магнитопроводы разнообразных форм и размеров.

Одним из основных этапов технологического процесса изготовления магнитопроводов из магнитодиэлектриков является приготовление пресспорошка. Магнитопроводы получают холодным или горячим прессованием на гидравлических прессах или литьем под давлением.

В трансформаторах низкой частоты, преобразователях напряжения и в дросселях, наряду с другими конфигурациями магнитопроводов, применяют сердечники с замкнутым магнитным потоком Ш-образной формы. Типовые размеры прессованных ферритовых магнитопроводов обычно несколько отличаются от штампованных пластинчатых магнитопроводов. На рис. 33, *а* показан эскиз броневого магнитопровода, а данные таких магнитопроводов из феррита марки 1000НМ приведены в табл. 21.

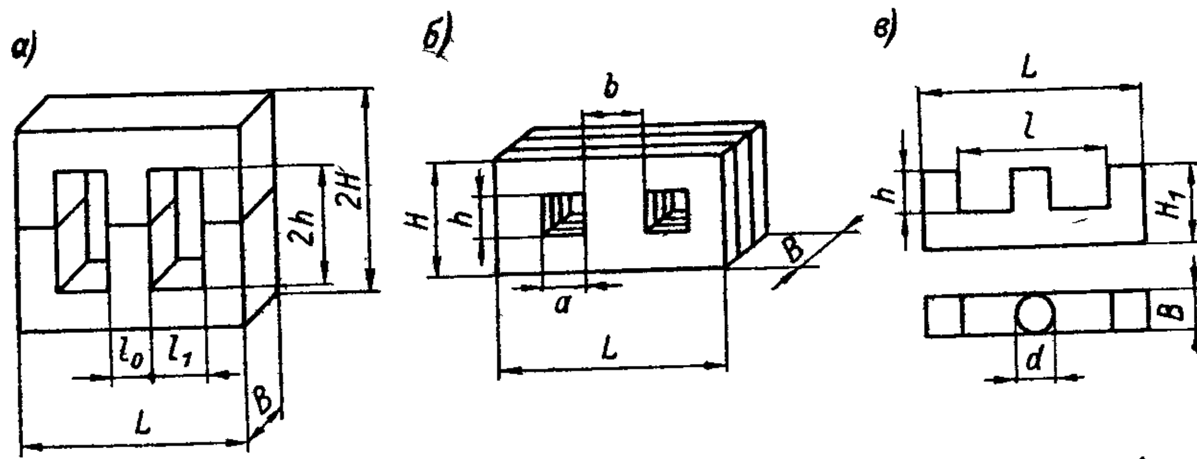


Рис. 33. Малогабаритные магнитопроводы и трансформаторы: *а* — ферритовый броневой магнитопровод; *б* — магнитопровод из пермаллоя; *в* — магнитопровод из оксифера

Тороидальные магнитопроводы. Они отличаются от броневых и стержневых почти полным отсутствием магнитных полей рассеяния, а также малой чувствительностью к воздействию посторонних (внешних) магнитных полей. Как правило, диапазон рабочих частот тороидальных магнитопроводов шире, чем у обычных. Их габариты и вес, приблизительно, на 25—40% меньше пластинчатых.

Тороидальные магнитопроводы трансформаторов могут быть кольцевыми, полученными набором пластин, а также витыми или прессованными. Изготовляют их из электротехнической стали, пермаллоя и феррита.

Для импульсных маломощных трансформаторов обычно применяют витой тороидальный магнитопровод, выполненный из электротехнической стали Э310—Э330, специальных сплавов типа 79НМА и др. Толщина ленты для навивки сердечника 0,02—0,1 *мм.*

В табл. 22 приведены технические данные некоторых витых тороидальных магнитопроводов типа ОЛ из пермаллоя толщиной 0,08 *мм.*

Таблица 21

Тип магнитопровода	Размеры сердечника, *мм*					
	L	l_0	l_1	$2h$	$2H$	B
Ш 2,5 × 2,5	10	2,5	2,0	6,5	10	2,5
Ш 3 × 3	12	3	2,5	8	12	3
Ш 4 × 4	16	4	3,2	10,4	16	4
Ш 5 × 5	20	5	4	13	20	5
Ш 6 × 6	24	6	5	16	24	6
Ш 7 × 7	30	7	6	19	30	7
Ш 8 × 8	32	8	7,5	23	32	8
Ш 10 × 10	36	10	8	26	36	10
Ш 12 × 15	42	15	9	30	42	12
Ш 16 × 20	54	20	11	38	54	16
Ш 20 × 28	65	28	12	44	65	20

Таблица 22

Наружный диаметр кольца D, *мм*	Внутренний диаметр кольца d, *мм*	Высота кольца B, *мм*	Длина средней магнитной линии l_c, *см*
16	10	4; 5; 6,5; 8	4,0
20	12	5; 6,5; 8; 10	5,0
26	16	6,5; 8; 10; 12,5	6,5
32	20	8; 10; 12,5; 16	8,1

20. Обмотки дросселей и трансформаторов

При изготовлении трансформаторов и дросселей применяют рядовую однослойную или многослойную обмотку, состоящую из витков изолированного провода или ленты, которую наматывают и закрепляют на каркас, гильзу, оправку или непосредственно на сердечник. В высоковольтных силовых трансформаторах и дросселях часто применяют секционированную обмотку. Широкое рас-

пространение получили также бескаркасные обмотки, используемые в галетных трансформаторах.

Для обмотки применяют медный эмалированный провод типа ПЭЛ, ПЭВ, ПЭТВ; провод с волокнистой изоляцией типа ПБД, ППБ, ПСД, ППК, ПЭЛБО; провод с эмалево-волокнистой изоляцией типа ПЭЛШКО, ПЭЛВО, с триацетатной пленкой типа ППТБО и др.

В качестве обмоточного провода для миниатюрных маломощных силовых трансформаторов и дросселей низкой частоты чаще всего используют медную проволоку с эмалевой изоляцией типа ПЭЛ и ПЭВ. Для выводов можно применить многожильный гибкий провод типа МГШД и МГШВ.

Выпускаемые отечественной промышленностью *галетные малогабаритные трансформаторы* имеют первичную обмотку в виде бескаркасных катушек и вторичную обмотку, состоящую из набора типовых галет. Галеты изготовляются независимо друг от друга, а затем одеваются на магнитопровод и соединяются между собой последовательно или параллельно. В зависимости от параметров каждой галеты, их количества и способа соединения можно получить различные характеристики трансформатора по току и напряжению. Так силовой трансформатор галетного типа с расчетной мощностью $S_т = 8$ *ва* имеет вес 35 *Г*; габариты 24 × 30 × 32 *мм*; при $S_т = 12{,}5$ *ва*, вес равен 45 *Г*, габариты 28 × 30 × 32 *мм*; при $S_т = 16$ *ва*, вес равен 60 *Г*, размеры 32 × 30 × 32 *мм*. Такие галетные трансформаторы изготавливаются промышленностью 19 типоразмеров с максимальной мощностью 800 *ва*.

Обмотка может быть выполнена лентой или проводом, имеющим изоляцию. Намотка производится виток к витку. Галеты получают бескаркасной намоткой из анодированной алюминиевой фольги на оправки прямоугольного сечения. Оправки изготовляются в соответствии с размерами магнитопровода. Колодки с контактными выводами приклеиваются к обмотке, которая обволакивается компаундами или лаками.

Изоляция между обмотками низковольтных трансформаторов осуществляется применением кабельной, телефонной, микалентной и конденсаторной бумаги типа К, ИП, КОН-1 и др.; лакоткани типа ЛХ, ЛШ, стеклоткани и др., либо пленочных материалов, к которым можно отнести триацетатную, полиэтилентерефталатную пленку (лавсан) и пленку фторопласт-4. Для этой же цели применяют изоляционные лаки и эмали.

С целью создания монолитных и влагостойких обмоток их подвергают пропитке и заливке изоляционными лаками и компаундами. Теплостойкие электроизолирующие, пропиточные и заливочные эмали, смолы, компаунды, а также полиамиды, полиэфиры, полиуретаны, фторорганические, кремнийорганические и другие соединения дают возможность создавать миниатюрные трансформаторы, способные длительное время надежно работать при высоких температурах.

Для изоляции обмоток таких трансформаторов применяют трансформаторное масло, термореактивные компаунды на основе эпоксидных смол, с помощью которых производят заливку или обволакивание. В качестве пропиточных и обволакивающих материалов применяют лаки 447, 1154, 321-Т, К-47, ФЛ-98, КМ-17 и др. компаунды типа МБК, КГМС, ЭД-5, КП-10 и т. д.

Трансформаторы и дроссели могут быть защищены от внешнего воздействия пропиткой, заливкой, обволакиванием, опрессовкой или герметизацией конструкции.

Благодаря новым разработкам магнитных материалов и диэлектриков, а также совершенствованию технологических процессов оказалось возможным получить микроминиатюрные трансформаторы высокого качества.

21. Микротрансформаторы

Магнитопроводы микротрансформаторов изготавливаются из высококачественных магнитных материалов и содержат обмотку из медной микропроволоки. При рабочей частоте до 100 *кгц* для трансформаторов малой мощности применяют Ш-образные пластины из пермаллоя типа 30НХС и 79НМ толщиной 0,1 *мм* или типа 50НХС толщиной 0,1—0,2 *мм*. Для трансформаторов выше 100 *кгц* применяются ферриты типа 2000НМ, 3000НМ. Обмотки выполняются из микропровода диаметром от 20 до 120 *мкм* в стеклянной изоляции толщиной 10—15 *мкм*.

В табл. 23 приведены некоторые данные магнитопроводов микротрансформаторов из пермаллоя типа Ш (рис. 33, *б*) и из оксифера (рис. 33, *в*) типа ОШ.

В табл. 23 приняты следующие обозначения: $S_о$ — площадь окна сердечника, *см*²; $S_м$ — площадь сечения меди в окне сердечника, *см*²; $S_м = S_о k_м$, где $k_м$ — коэффициент заполнения окна сердечника медью, $k_м = 0{,}4$; $S_с$ — площадь сечения магнитного материала, *см*²; $l_м$ — средняя длина витка, *см*; $l_с$ — средняя длина магнитной силовой линии, *см*.

Намотка микропровода производится на стеклянные или керамические каркасы. Герметизацию и предохранение от механических повреждений микротрансформаторов осуществляют заливкой эпоксидной смолой или другой пластмассой. Подогрев микропровода при его обмотке обеспечивает высокое качество трансформаторов, так как исключает короткозамкнутые витки и случаи повреждения изоляции.

Малогабаритные импульсные трансформаторы МИТ. Они нашли широкое применение в радиотехнической аппаратуре: схемах совпадения, блокинг-генераторах, в схемах развертки и развязок, усилителях и др. Материалом для магнитопроводов импульсных трансформаторов является электротехническая сталь марки Э310, пермаллой и ферриты. Трансформаторы имеют кольцевой сердечник из никель-цинкового или марганец-цинкового феррита.

Таблица 23

Тип магнитопровода	Размеры сердечника, *мм*						Технические характеристики				
	H	L	h	a	b	B	S_0, *см*²	$S_м$, *см*²	$S_с$, *см*²	$l_м$, *см*²	$l_с$, *см*
Ш 03×03	12	12	7 8	2 4	3 0	3 0	0 187	0 075	0,072	1 8	2 82
Ш 03×04,5	12	12	7,8	2 4	3 0	4,5	0 187	0 075	0,108	2,1	2,82
Ш 04×04	16	16	10 4	3 2	4,0	4,0	0,333	0 133	0,130	2 4	3 76
Ш-04×06	16	16	10 4	3 2	4,0	6,0	0,333	0,133	0 190	2 8	3 76
Ш-05×05	20	20	13 0	4 0	5,0	5 0	0,520	0 208	0,200	3 0	4,70
Ш-05×07,5	20	20	13 0	4,0	5 0	7,5	0,520	0 208	0,300	3,5	4,70
	H_1	L	h	d	l	B					
ОШ-6	8 8	21 0	5 7	6,0	15 0	5 70	0 514	0 203	0,283	3 50	4,38
ОШ-5	7,6	17,5	5 0	5,0	12,5	4,75	0,3[illegible]0	0 144	0 196	2,95	3 66
ОШ-4	6,0	14 0	4 0	4,0	10 0	3 80	0 228	0,115	0 126	2,35	2 92
ОШ-3	4,6	10,5	3,0	3,0	7,5	2,80	0 126	0,060	0,071	1,78	2 12

Размеры кольцевого магнитопровода: наружный $D = 12{,}5—17{,}5$ *мм*, внутренний $d = 5—8{,}5$ *мм*, высота $B = 5$ *мм*.

Обычно в таких трансформаторах используются рядовые намотки, причем искажения формы импульса зависят от качества и вида намотки. Особое внимание обращается на изоляцию между обмотками. В нормальных условиях сопротивление изоляции между обмотками должно быть порядка 100 *Мом*.

Импульсные трансформаторы МИТ (рис. 34) имеют герметизированную вибропрочную конструкцию. Обычно они подвергаются обволакиванию эпоксидной смолой Э40А или ЭД6. Вес трансформатора — 6,5—7 *Г*.

Трансформаторы типов МИТ-0, МИТ-2, МИТ-3, МИТ-4 и МИТ-10 предназначены для работы на высокоомную нагрузку для генерации импульсов длительностью от 0,025 до 7,5 *мксек*. При высоких частотах следования импульсов с малой длительностью используются трансформаторы МИТ-0 и МИТ-1, при большой длительности — МИТ-4. Трансформаторы типа МИТ-7, МИТ-8 и МИТ-9 работают на нагрузки около 75 *ом* для генерации импульсов длительностью 0,03—1 *мксек*. При низкоомной нагрузке с генерацией импульсов длительностью 0,05 *мксек* применяются МИТ-7, а для генерации импульсов длительностью 0,5 *мксек* и более используется МИТ-9. МИТ-12 аналогичен МИТ-2, но имеет две нагрузочные обмотки. Частота следования импульсов в миниатюрных трансформаторах до 5 *Мгц*, амплитуда импульса 60—100 *в*, коэффициент трансформации по напряжению 0,75—4.

Трансформаторы типа ММТИ 2—13. Микромодульные импульсные трансформаторы имеют ферритовый магнитопровод и используются в блокинг-генераторах и других подобных схемах.

Трансформаторы с ферритовым сердечником выпускаются 12 типов с различными электрическими параметрами, разным числом обмоток и схемами выводов. Они предназначаются для работы

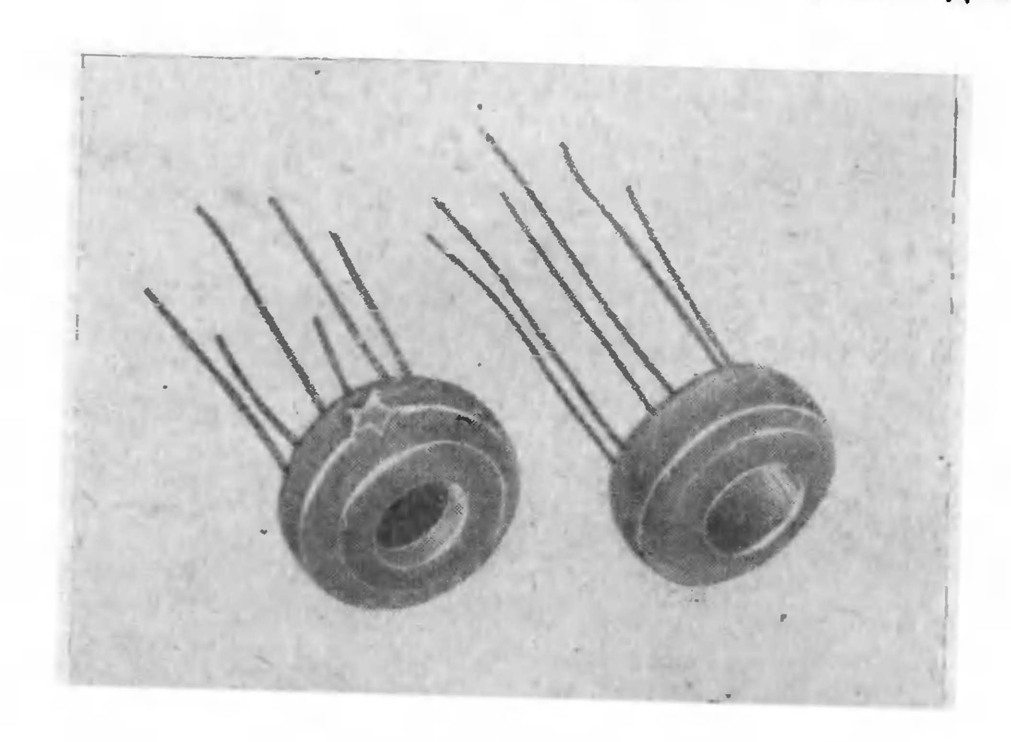


Рис. 34. Внешний вид трансформаторов типа МИТ

в интервале рабочих температур от —60 до +70° С при амплитуде входного импульса 18—20 *в*, частоте повторения до 10 *кгц* и длительности импульса до 5 *мксек*; ММТИ-9 и ММТИ-12 предназначены для работы при частоте повторения импульсов 5 *кгц*. В табл. 24 приведены некоторые технические данные трансформаторов ММТИ 2—13.

В табл. 24 указано: $\tau_{и.вх}$ и $\tau_{и.вых}$ — длительность импульса на входе и выходе трансформатора; $\tau_{ф.вх}$ и $\tau_{ф.вых}$ — длительность нарастания переднего фронта импульса на входе и выходе трансформатора; $I_т$ — допустимый ток первичной обмотки в импульсе.

Диаметр трансформатора $D = 7{,}2—7{,}6$ *мм*, высота H от 3,8 до 6 *мм*; вес — от 0,5 до 0,7 *Г*. Для его установки используется нормализованная микроплата.

Трансформаторы типа ММТИ 20—166. Это микромодульные импульсные трансформаторы, имеющие пермаллоевый магнитопровод и предназначенные для работы в интервале температур от —60 до +85° С. Они делятся на 9 групп, каждая из которых имеет 14,

Таблица 24

Тип трансформатора	К-во обмоток	Коэффициент трансформации $n \pm 10\%$	$\tau_{и.\,вх}$, *мксек*	$\tau_{ф.\,вх}$, *мксек*	$I_т$, *ма*	$\tau_{и.\,вых}$, *мксек*	$\tau_{ф.\,вых}$, *мксек*
ММТИ-3	2	5 : 2	1,0	$(0{,}075 + 0{,}5\%)\ \tau_{и,\,вх}$	55	$\pm 10\%\ \tau_{и,\,вх}$	0,12
ММТИ-6		1 : 1	1,0		55		0,12
ММТИ-7		1 : 1	1,0		198		0,12
ММТИ-8		2 : 1	2,0		154		0,13
ММТИ-11		3 : 1	2,0		55		0,25
ММТИ-12		1 : 1	2,0		127		0,13
ММТИ-2	3	1 : 5 : 5	5,0		66		0,24
ММТИ-4		1 : 3,3 : 3,3	1,5		74		0,12
ММТИ-5		1 : 1 : 1	0,4		154		0,1
ММТИ-9		1 : 1 : 1	2,0		127		0,13
ММТИ-10		3 : 1 : 1	2,0		55		0,25
ММТИ-13		1 : 2 : 2	5,0		10		0,15

18 или 19 видов с двумя, тремя и четырьмя обмотками. Всего выпускаются 146 типов трансформаторов с длительностью входного импульса: 0,05; 0,1; 0,25; 0,4; 0,6; 1,6; 4,0; 6,3 и 10 *мксек*. Они нормально работают при амплитуде входного импульса на первичной обмотке 10 *в*, за исключением 6—9 групп, которые работают при амплитуде входного импульса 15 *в*. Наибольшая частота повторения импульсов допускается в зависимости от номера группы трансформатора (до 10 *кгц*).

Размеры трансформаторов: диаметр D — от 6,7 до 7,6 *мм*, высота H от 3,4 до 4,5 *мм*.

Трансформаторы типа ТФМ. Микромодульные трансформаторы с ферритовым кольцевым магнитопроводом марки 50ВЧ-2. Трансформатор имеет три обмотки. Он устанавливается на микроплату и защищается колпачком. Концы первичной обмотки присоединяются к 1—9—3 пазам; первая вторичная — к 11—9 пазам; вторая вторичная — к 9—5 пазам микроплаты. Первичная обмотка имеет индуктивность 180 *мкгн*. Коэффициент связи между первичной и вторичными обмотками 0,85; между половинами первичной обмотки 0,95; между вторичными обмотками 0,95.

Трансформаторы типа ММТС 1—7. Микромодульные трансформаторы согласования низкой частоты предназначены для работы в диапазоне от 300 до 3000 *гц* с неравномерностью частотной характеристики до ± 5 *дб* и коэффициентом нелинейных искажений не более 10%.

Они используются в микромодульных конструкциях и выпускаются семи типономиналов. Внешний вид и схемы выводов ММТС представлены на рис. 35, *а*, *б*. В качестве магнитопровода применяется ферритовое кольцо, несущее обмотку.

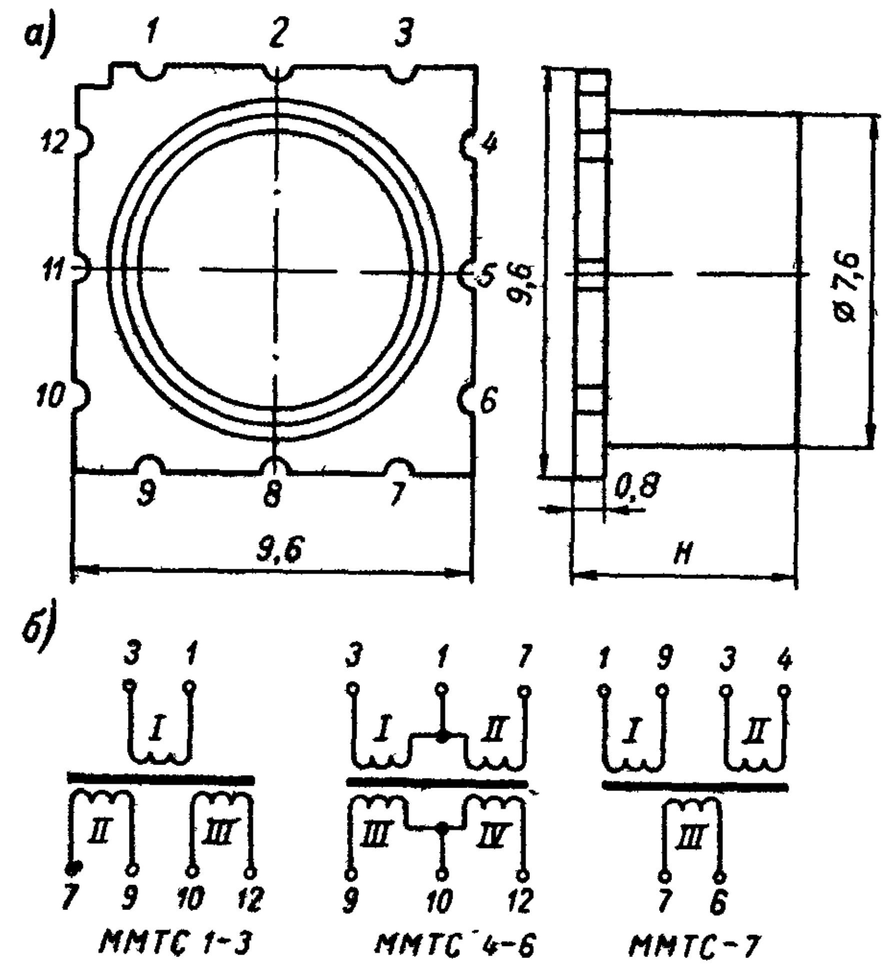


Рис. 35. Трансформаторы типа ММТС 1—7: *а* — внешний вид; *б* — схемы выводов

По своему назначению ММТС разделяются на входные — ММТС 1—3, имеющие одну первичную обмотку с выводами 1—3 и две вторичные обмотки с выводами 7—9 и 10—12; переходные — ММТС 4—6, у которых две первичные обмотки с выводами 1—3 и 1—7 и две вторичные обмотки, имеющие выводы 10—9 и 10—12; выходные — ММТС-7, которые имеют две первичные обмотки с выводами 1—9 и 3—4, а также одну вторичную обмотку с выводами 7—6.

Высота H у трансформаторов ММТС находится в пределах от 4,5 до 13,3 *мм*, вес от 1,0 до 2,5 *Г*. Основные технические характеристики микромодульных трансформаторов приведены в табл. 25.

Трансформаторы типа ММТС 1—7 предназначены для эксплуатации при температуре окружающей среды от —60 до +85° С, относи-

тельной влажности до 98%. Сопротивление изоляции между обмотками, а также между корпусом и каждой обмоткой в нормальных климатических условиях не менее 1000 *Мом*; испытательное напряжение постоянного тока 100 *в*; гарантийный срок службы 5000 *ч*.

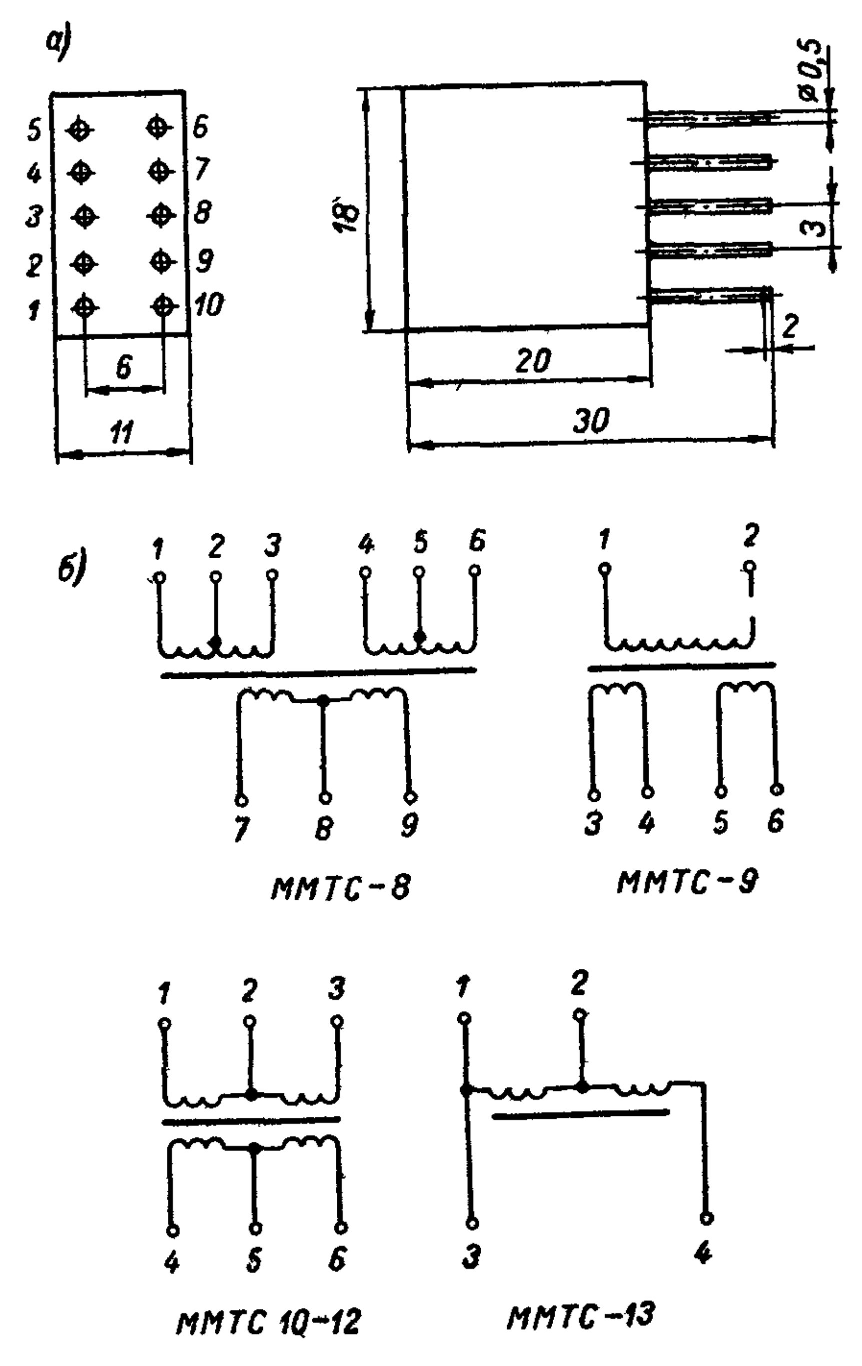


Рис. 36. Трансформаторы типа ММТС 8—13: *а* — внешний вид; *б* — схемы выводов

Трансформаторы типа ММТС 8—13. Микромодульные трансформаторы согласования предназначены для работы в интервале рабочих температур от —60 до +85° С; диапазон частот — от 300 до 10 000 *гц* с неравномерностью частотной характеристики ±5 *дб* и коэффициентом нелинейных искажений не более 10%. Сопротивление изоляции между обмотками не менее 100 *Мом*.

Внешний вид и схемы выводов низкочастотных трансформаторов согласования ММТС 8—13 представлены на рис. 36, *а*, *б*. Основные технические данные приведены в табл. 26.

Трансформаторы ММТС-8 имеют две первичные обмотки с выводами *1*, *2*, *3* и *4*, *5*, *6* и одну вторичную обмотку, имеющую выводы *7*, *8*, *9*; ММТС-9 — одну первичную обмотку с выводами *1*, *2* и две вторичные — с выводами *3*, *4* и *5*, *6*. Трансформаторы ММТС 10—12 имеют одну первичную обмотку со средней точкой, выводы *1*, *2*, *3* и одну вторичную обмотку со средней точкой, выводы *4*, *5*, *6*. Автотрансформаторы ММТС-13 имеют одну обмотку с выводами *1*, *3* и концом входной обмотки *2*, конец выходной обмотки *4*. Вес трансформатора типа ММТС 14 *Г*.

Нормализованные трансформаторы и дроссели. В настоящее время разработаны унифицированные трансформаторы и дроссели, которые широко применяются в массовом производстве. К ним относятся: анодные ТА, накальные ТН и анодно-накальные ТАН. Выходное напряжение указанных трансформаторов на частоте 50 *гц* находится в пределах от 6,3 до 1260 *в*, а мощность — от 7 до 510 *ва*.

К унифицированным низкочастотным трансформаторам, предназначенным для схем на полупроводниковых приборах, относятся: оконечные и межкаскадные ТОТ и входные ТВТ. Технические характеристики указанных трансформаторов приведены в табл. 27.

Унифицированные дроссели фильтров Д имеют индуктивность от 0,0005 до 40 *гн*, а ток 0,035—18 *а*.

Таблица 25

Тип трансформатора	Коэффициент трансформации: номинальное значение	Коэффициент трансформации: допускаемое отклонение	Напряжение на первичной обмотке U_1, *в*	Ток подмагничивания I_1, *ма*	Индуктивность обмотки L_1, *гн*	Индуктивность рассеяния первичной обмотки L_s, *гн*	Номинальное сопротивление обмоток постоянному току при +20° С, *ом*: первичная	Номинальное сопротивление обмоток постоянному току при +20° С, *ом*: вторичная	Входное сопротивление $R_{вх}$, *ом*	Выходное сопротивление $R_{вых}$, *ом*	Коэффициент полезного действия
ММТС-1	6,33	±0,63			0,01	0,004	16	270 × 2	50		
ММТС-2	1,83	±0,18	0,35	—	0,135	0,048	160	264 × 2	600	500 × 2	0,5
ММТС-3	1,0	±0,1			0,35	0,16	420	366 × 2	2000		
ММТС-4	0,52	±0,05	1,41	1	1,4	0,5	690 × 2	342 × 2	3000 × 2		
ММТС-5	0,169	±0,017			1,8		600 × 2	66 × 2		100 × 2	0,6
ММТС-6	0,4	±0,04	3,54	4	0,18	0,08	106 × 2	40 × 2			
ММТС-7	1,41	±0,14	2,5		0,09	0,04	152 × 2	175	500 × 2	600	

Таблица 26

Тип трансформатора	Коэффициент трансформации: номинальное значение	Коэффициент трансформации: допускаемое отклонение	Напряжение на первичной обмотке U_1, *в*	Ток подмагничивания I_1, *ма*	Индуктивность обмотки L_1, *гн*	Индуктивность рассеяния первичной обмотки L_s, *гн*	Номинальное сопротивление обмоток постоянному току при +20° С, *ом*: первичная	Номинальное сопротивление обмоток постоянному току при +20° С, *ом*: вторичная	Входное сопротивление $R_{вх}$, *ком*	Выходное сопротивление $R_{вых}$, *ом*	Коэффициент полезного действия
ММТС-8	1,79	± 0,18	1,0	—	1,5	0,11	200	1700	1,92	4000	0,65
ММТС-9	0,26	± 0,03	4,0	3,5	1,5	0,22	510	100	8,2	430	0,8
ММТС-10	0,18	± 0,02	10,0	1,0	6,0	0,6	1700	26	12,5	400	0,8
ММТС-11	0,45	± 0,04	10,0	1,0	6,0	0,6	1750	210	12,5	2000	0,8
ММТС-12	0,27	± 0,03	13,0	1,0	7,5	0,75	1650	110	16,0	1000	0,8
ММТС-13	1,26	± 0,13	2,0	1,0	5,0	1,5	1000	1700	28,0	41 500	0,9

Таблица 27

Тип трансформатора	Мощность, *ва*	Полоса пропускания, *гц*	Входное сопротивление, *ком*	Сопротивление нагрузки, *ом*
ТОТ	0,025—25	300—10 000	0,013—22	4—4000
ТВТ	—	300—10 000	0,05—500	250—2000

ГЛАВА ПЯТАЯ

МИНИАТЮРНЫЕ УЗЛЫ И БЛОКИ

22. Общие сведения

Типовые схемы выполняются в виде функциональных узлов, модулей и микромодулей, микроблоков и других микроузлов, представляющих законченную конструкцию нормализованных размеров; они технологичны и взаимозаменяемы. Разработка радиоэлектронной аппаратуры по функционально-узловому методу резко сокращает сроки проектирования и снижает трудоемкость работ. Наряду с этим можно вводить изменения в конструкцию в процессе разработки и изготовления опытных образцов; оказывается возможным механизировать и автоматизировать процесс изготовления и контроль электрических параметров; уменьшить потребляемую мощность и обеспечить хороший теплообмен.

Применение миниатюрных функциональных схем не только снижает вес и размеры, но и увеличивает плотность компоновки, по которой судят о степени использования заданных объемов; повышает надежность и ремонтоспособность, а также снижает себестоимость аппаратуры.

Микромодульные конструкции, пленочные микросхемы, интегральные и гибридные схемы позволяют создать микроминиатюрную аппаратуру, обладающую высокими качествами и большой плотностью компоновки.

Т о н к о п л е н о ч н ы е схемы состоят из пассивных элементов — резисторов, конденсаторов, проводников. В настоящее время известны разнообразные методы нанесения тонкопленочных схем, к числу которых относятся методы испарения и катодного распыления материала в вакууме. Известно также направление под названием электронной микротехнологии, позволяющее создавать схемы с помощью электронного луча. Тонкопленочные микроэлектронные узлы обладают малым уровнем шумов и хорошими высокочастотными свойствами. По сравнению с другими методами микроминиатюризации, надежность пленочных схем в 8—10 раз больше микро-

модульных конструкций. Это обусловлено сокращением числа внутриблочных соединений, повышением стойкости конструкции к вибрациям и ударным нагрузкам, возможностью механизации и автоматизации процесса изготовления и контроля микроузлов.

Одним из наиболее перспективных направлений микроэлектроники является применение полупроводниковых интегральных схем, которое развивается на основе физики твердого тела и технологии производства полупроводниковых приборов. Интегральные схемы обладают более высокой степенью миниатюризации и большей надежностью, чем тонкопленочные микросхемы. В монокристалле кремния или германия можно получить схему, состоящую из пассивных и активных элементов, которые в соединении выполняют функцию законченного узла. Так, кристалл кремния размером 4,5×2×0,3 *мм* эквивалентен блоку, состоящему из 40 и более элементов. Процесс изготовления различных элементов схемы в одном кристалле небольших размеров создает значительные трудности в производстве интегральных схем. Однако, получение схем может быть механизировано и, таким образом, интегральные микроэлектронные узлы открывают большие возможности перед конструкторами. По данным ряда исследователей, интегральные схемы позволяют увеличить надежность аппаратуры в 30—40 раз по сравнению с другими микросхемами. Они обладают более коротким циклом разработки и производства; обеспечивают весьма большую плотность монтажа и хорошее рассеяние тепла.

В радиоэлектронной аппаратуре большое распространение получили гибридные схемы, т. е. интегральные полупроводниковые схемы с активными элементами в сочетании с тонкопленочными пассивными или навесными микроэлементами. Применяют также термин «гибридная микросхема» в случае, когда тонкопленочная схема содержит навесные элементы.

Промышленностью выпускаются микроэлектронные узлы, выполняющие функции усилителя, триггера, мультивибратора, преобразователя тока и др. в различном конструктивном оформлении. Выбор той или иной микросхемы обусловливается ее техническими особенностями и стоимостью, часто при этом руководствуются соотношением числа пассивных и активных элементов. Обычно, если в схеме преобладают активные элементы, то применяют интегральные схемы. Однако их нецелесообразно использовать, когда в схеме должны быть точные резисторы, большие емкости конденсаторов и индуктивности.

23. Функциональные узлы

Функциональным узлом или модулем называют конструктивно законченный элемент или функционально связанную совокупность элементов, которая образует ячейку, изготовляемую в едином технологическом процессе и выполняющую определенную функцию электрической схемы.

В настоящее время разработаны различные конструкции телевизоров, широковещательных радиоприемников и другой аппаратуры с применением таких узлов. Особенностью их является то, что они не привязаны к определенной конструкции и могут применяться в любой радиоэлектронной аппаратуре. Широкое распространение получили плоские и объемные модули.

Плоские модули. Они обычно содержат миниатюрные радиодетали и элементы печатных схем, которые размещаются на унифицированных изоляционных платах, различной геометрической формы, каждая из которых снабжается штырьками и выводами для электрического соединения. Отдельные модули объединяются в блоки, из которых создается радиоэлектронная аппаратура. К плоским модулям могут быть отнесены блоки-переходники; они получили применение в широковещательных радиоприемниках, телевизионной и специальной радиоэлектронной аппаратуре.

Блоки-переходники. В производстве телевизионных приемников широко используются блоки-переходники, которые представляют собой комплексную радиодеталь в виде конструктивно законченного блока. Они выпускаются трех видов: П, Б и МВ.

Переходные блоки могут выполнять различные функции: усилителя, дискриминатора, видеодетектора, интегратора и др. Типовая схема такого блока, например, усилителя низкой частоты состоит из двух резисторов и конденсатора. Он предназначен для включения в усилитель напряжения низкой частоты. Подобные блоки выполняются с различными параметрами и применяются в телевизионных приемниках, например, для усиления сигналов синхронизации, подаваемых на амплитудный селектор.

Блок-переходник типа П (печатный) состоит из печатных резисторов и проводников, печатных или объемных конденсаторов, которые размещаются на плате из керамики или стекла (рис. 37, *а*). Печатные резисторы заменяются ниточными композиционными резисторами с номинальной величиной сопротивления от 27 *ом* до 3 *Мом*. Керамические дисковые конденсаторы типа КДК имеют номинальную величину емкости от 10 до 10 000 *пф*; рабочее напряжение от 10 до 400 *в*. Блоки-переходники разработаны трех типоразмеров: 25×19×5, 32×24×5,6 и 42×30×6,5 *мм*. Они имеют защитное покрытие и выводы для включения в схему. Принципиальная электрическая схема блока-переходника типа П наносится краской на одну из плоскостей, а на другую плоскость наносится шифр блока, который характеризует его тип и электрические параметры.

Блоки-переходники типа Б (рис. 37, *б*) являются блоками с распределенными параметрами. Они выполняются на керамическом основании овальной формы и содержат конденсатор с сосредоточенными параметрами и конденсатор и резистор с распределенными параметрами. Конденсаторы C_1 и C_2 имеют номинальную емкость 3000 *пф*, а номинальное сопротивление резистора от 51 до 200 *ом*.

Миниатюрный блок-переходник типа МБ представлен на рис. 37, *в*, который помещен в герметизированный алюминиевый корпус. В блоках используются ниточные композиционные резисторы типа С3-3 с номинальной величиной сопротивления от 1,2 до 220 *ком*; ниточные станнатные резисторы типа С2-12, имеющие номинальное сопротивление от 82 *ом* до 1 *ком*; конденсаторы К10-9, номинальное значение емкости которых от 91 *пф* до 0,033 *мкф* и конденсаторы типа К10У-5 с диапазоном номиналов от 4700 *пф* до 0,01 *мкф*.

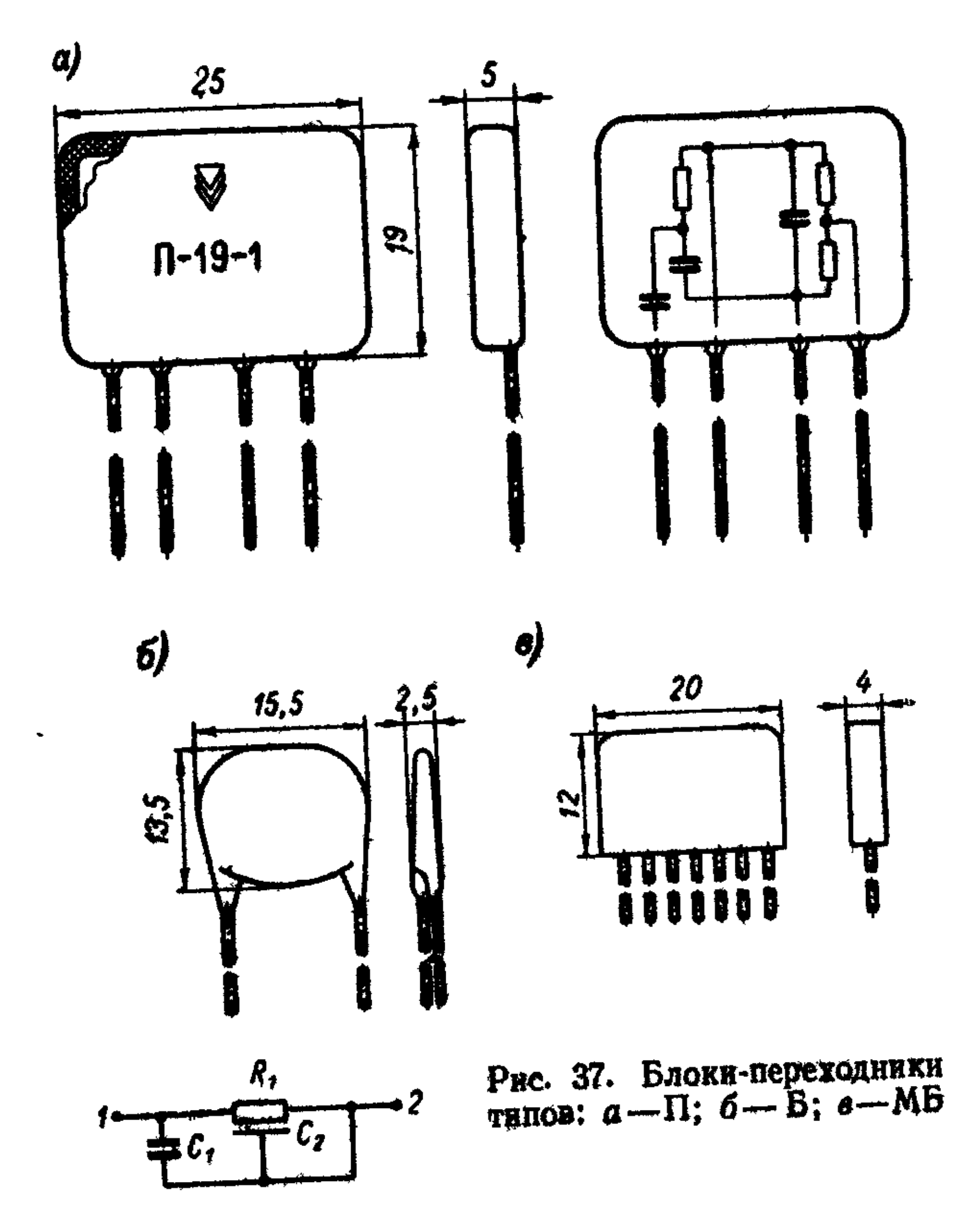


Рис. 37. Блоки-переходники типов: *а* — П; *б* — Б; *в* — МБ

Унифицированные функциональные узлы (УФУ). На рис. 38, *а* представлена электрическая схема, а на рис. 38, *б* — внешний вид УФУ, выполняющего функцию ждущего мультивибратора, предназначенного для формирования прямоугольных импульсов положительной и отрицательной полярности длительностью 4—2500 *мксек*.

В основу конструкции УФУ положена плата с печатным монтажом, на которую монтируются все радиодетали, составляющую схему. В плоских УФУ они обычно устанавливаются с той стороны платы, которая снабжена проволочными штырями или штепсельным разъемом для соединения элементов с печатным монтажом. Затем платы поступают на механизированную пайку. При использовании плат с двусторонним монтажом плотность компоновки элементов повышается.

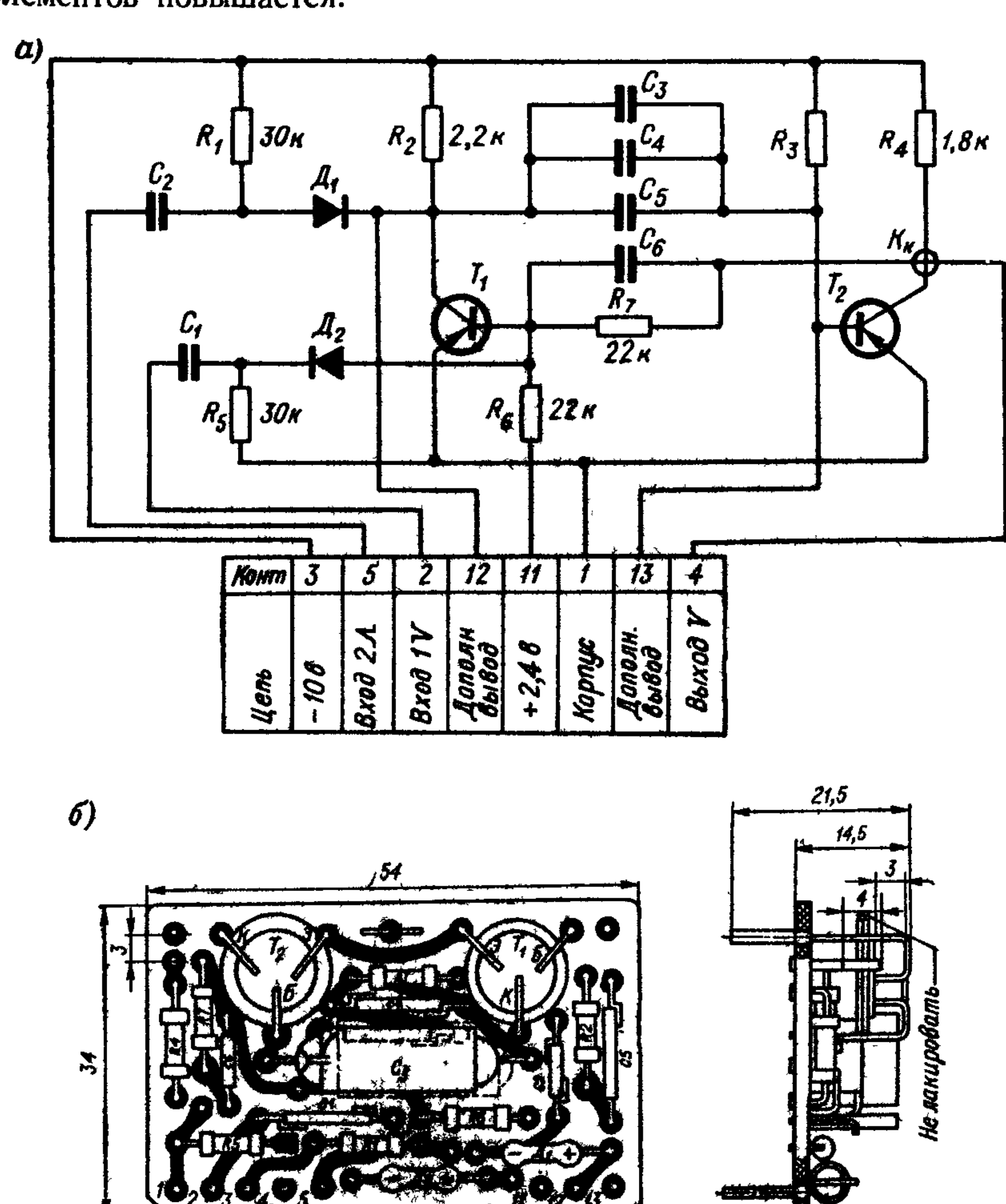


Рис. 38. Унифицированный ждущий мультивибратор: *а* — схема электрическая принципиальная; *б* — внешний вид мультивибратора

Печатные платы плоских модулей унифицированы по размерам и в зависимости от схемы соответствуют: а) 34 × (12; 26; 40; 54; 68; 82; 110; 124; 138) *мм*; б) 70 × (82; 110; 124) *мм*. Толщина плат 1—1,5 *мм*. Высота УФУ определяется высотой закрепленных на плате радиодеталей (11, 12, 12,5; 13,5, 17 *мм*). Вес УФУ — от 5 до 30 *Г*. Из набора УФУ собирается электронное устройство. Соединение с внешней электрической схемой производится печатным

монтажом, расположенным на плате субблока (рис. 39). УФУ устанавливаются параллельно (рис. 39, *а*) или перпендикулярно (рис. 39, *б*) плоскости субблока.

С целью защиты от действия внешней среды, повышения механической прочности и надежности узлы подвергаются лакокрасочным

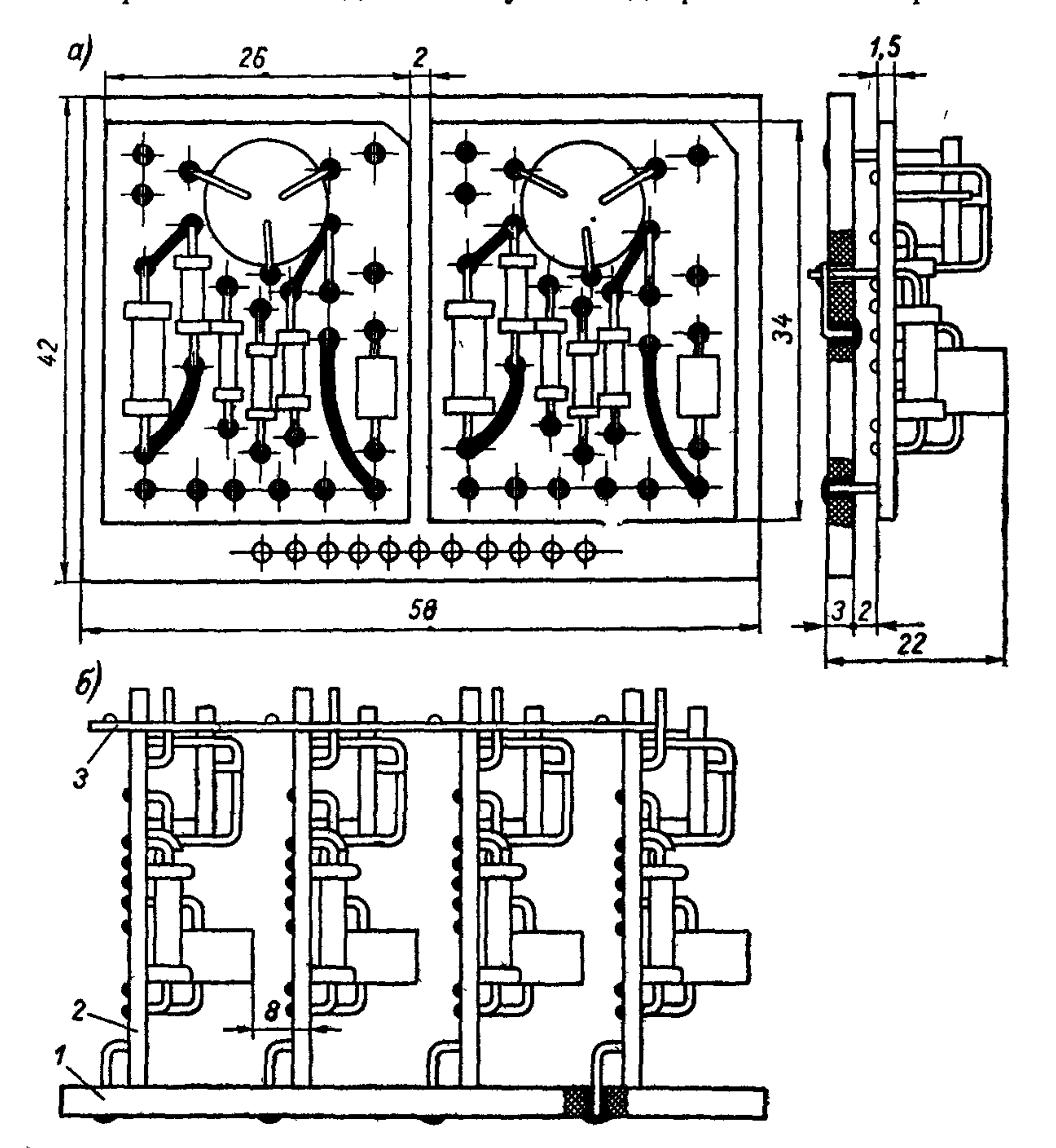


Рис. 39. Расположение унифицированных функциональных узлов на печатной плате субблока: параллельно (*а*) и перпендикулярно (*б*)

1 — печатная плата субблока; *2* — УФУ; *3* — крепежная планка

покрытиям или заливаются компаундом. Конструирование на основе УФУ создает условия не только для унификации узлов и блоков, но и аппаратуры в целом. Повышение надежности осуществляется за счет отработанной конструкции и установившегося технологического процесса унифицированных функциональных узлов. Плоскостные конструкции УФУ создают хороший теплообмен и обеспечивают наиболее благоприятные условия для механизации и автоматизации технологических процессов производства.

В настоящее время разработаны и выпускаются промышленностью УФУ различного назначения, например, унифицированный триггер для коммутации электрических цепей, формирования импульсов, деления частоты и счета числа импульсов; ждущий блокинг-генератор, предназначенный для генерирования прямоугольных импульсов положительной и отрицательной полярности и др.

Модули типа ФЭ. Разновидностью плоского модуля является функциональный элемент (ФЭ), основание которого представляет плату с печатным монтажом, имеющую размеры: 24 × (15; 25; 30; 40) × 1 *мм*.

На рис. 40, *а* представлен модуль типа ФЭ. На плоскости платы противоположной печатному монтажу (рис. 40, *б*), размещены резисторы, конденсаторы и другие элементы. Плата снабжена проволоч-

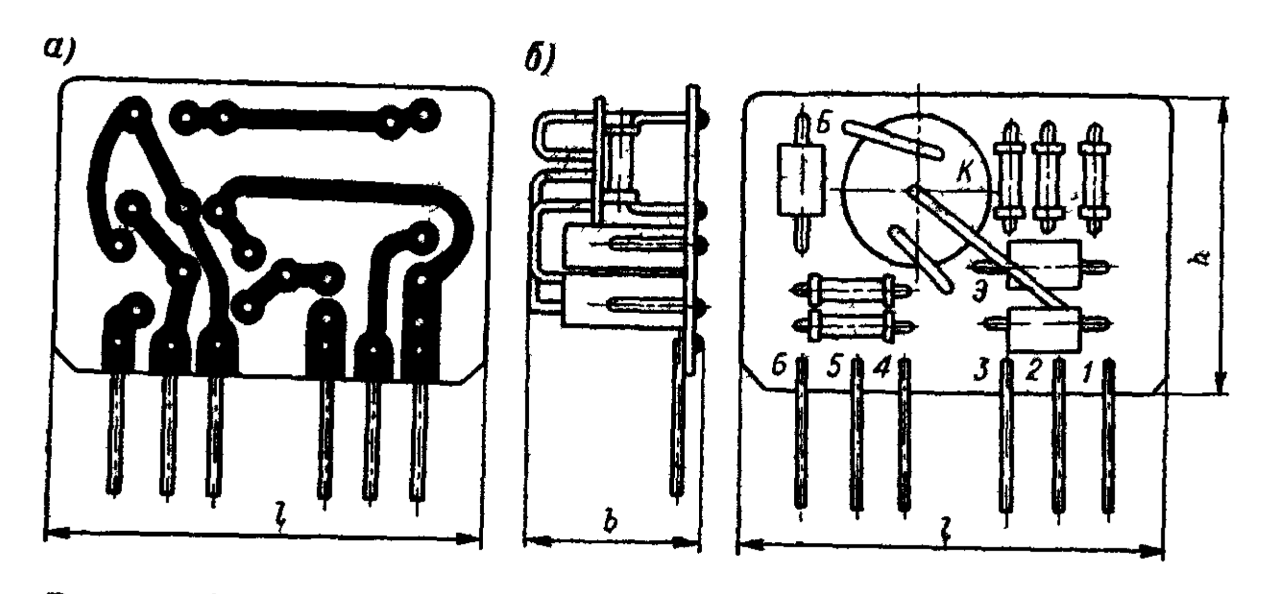


Рис. 40. Плоский модуль типа ФЭ: *а* — вид со стороны печатного монтажа; *б* — расположение элементов на плате

ными выводами. Для обеспечения механической прочности и герметизации она помещается в алюминиевый кожух, заливается пенопластом и эпоксидным компаундом. При сборке отдельных модулей ФЭ они устанавливаются на общей печатной плате вертикально и крепятся с помощью резьбовых отверстий кожуха.

Объемные модули. Объемные функциональные узлы часто содержат одну или две платы с печатным монтажом. На плоскости платы устанавливаются и крепятся обычные радиодетали. Затем модули герметизируются заливкой компаунда или помещаются в корпус. Основным недостатком конструкции объемных модулей этого вида являются сравнительно большие размеры и вес, а также небольшая плотность компоновки, что ограничивает их применение в миниатюрной аппаратуре.

Малогабаритный объемный модуль типа ММ-3 представляет конструкцию, состоящую из малогабаритных радиодеталей, установленных вертикально и соединенных между собой тонкой монтажной проволокой. Сборка элементов осуществляется с помощью временного основания из диэлектрика, имеющего шаг координатной

сетки 1,5 *мм*, а также гнезда, куда пропускаются выводы радиоэлементов.

Для создания монолитной конструкции элементы заливаются пенополиуретаном. Герметизация и механическая прочность обеспечиваются металлическим корпусом и заливкой конструкции эпоксидным компаундом. С целью унификации модулей приняты следующие размеры ММ-3: а) 9,5 × (9,5; 17) × 15 *мм*; б) 12×17×15 *мм*;

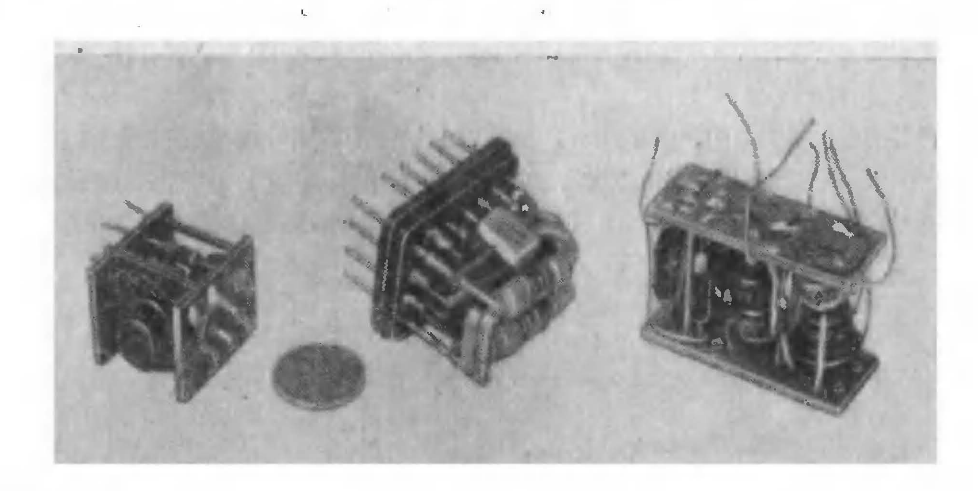


Рис. 41. Внешний вид объемных модулей

в) 14,5×17×15 *мм*; г) 17 × (17; 19,5; 22; 24,5; 27; 29,5) × 15 *мм*. Конструкция объемных модулей позволяет осуществить более высокую плотность компоновки по сравнению с плоскими модулями, уменьшить объем в 2—3 раза, повысить надежность в работе и снизить себестоимость аппаратуры.

Другая конструкция объемного модуля типа ПМ-1 успешно может быть использована в миниатюрной радиоэлектронной аппаратуре. На микроплате с печатным монтажом установлены микроэлементы, которые защищены от воздействия внешней среды лакокрасочным покрытием и кожухом. Блок аппаратуры состоит из нескольких модулей, размещенных в одном корпусе.

На рис. 41 представлен внешний вид некоторых конструкций объемных модулей.

24. Микромодули и микроблоки

При конструировании радиоэлектронной аппаратуры широко применяют микромодули, микромодульные узлы и блоки.

М и к р о м о д у л ь — герметизированная конструкция, состоящая из микроэлементов и представляющая собой законченную функциональную схему радиоэлектронной аппаратуры.

М и к р о э л е м е н т — элемент схемы (резистор, конденсатор и т. д.), установленный на микроплате и входящий в сборку микромодуля. Элементы схемы могут быть печатными и объемными.

М и к р о м о д у л ь н ы й б л о к — конструктивно и функционально законченное изделие, состоящее из основания, микромодулей и других радиодеталей.

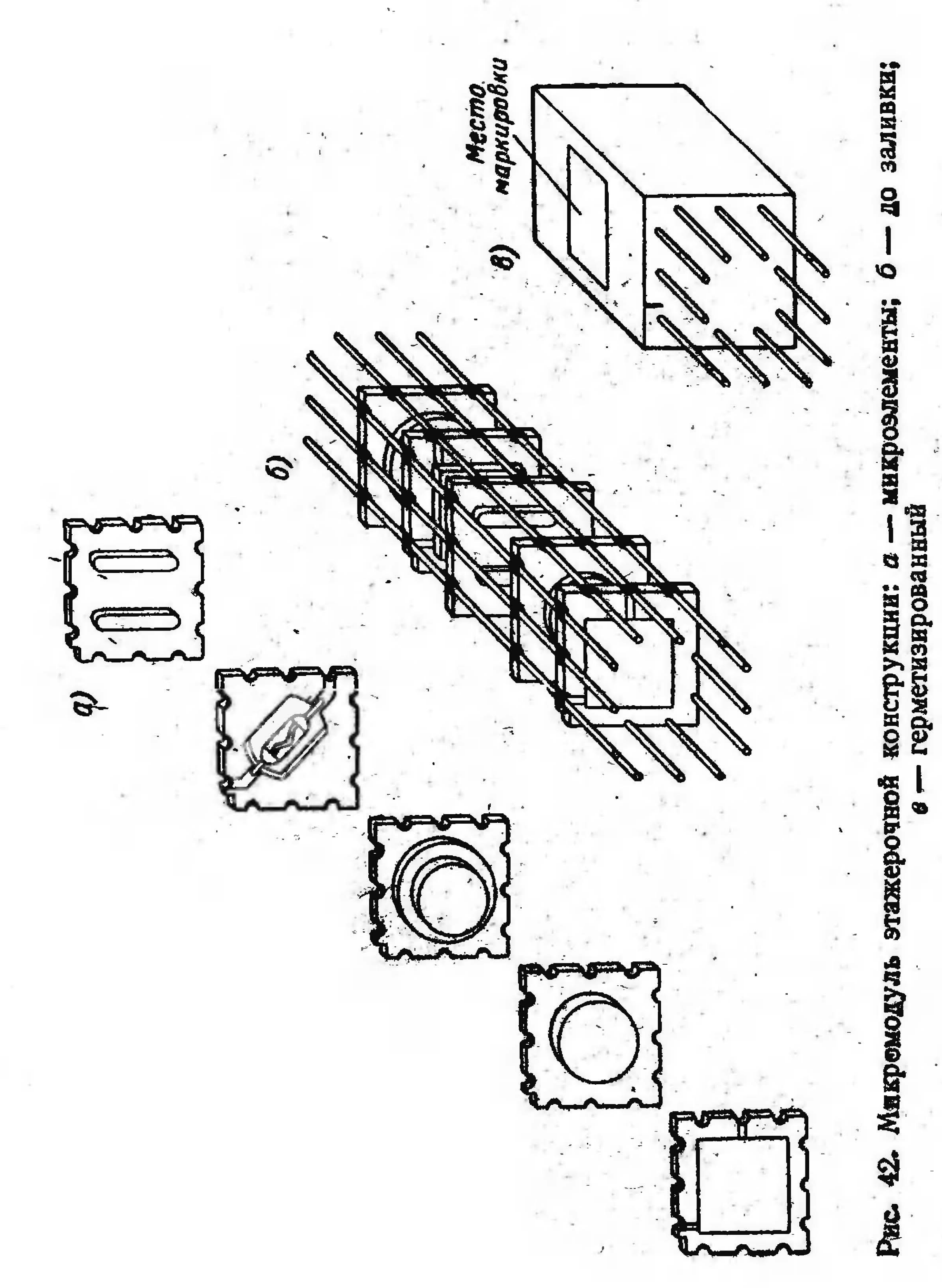


Рис. 42. Микромодуль этажерочной конструкции: *а* — микроэлементы; *б* — до заливки; *в* — герметизированный

Микромодули и микроблоки являются законченными в конструктивном отношении функциональными узлами. Существует несколько разновидностей микромодульных конструкций, к числу которых относятся этажерочные и плоские.

Этажерочные микромодули. Основой конструкции микромодуля этажерочного типа являются микроплаты и микроэлементы, которые собираются в виде пакета — «этажерки» с помощью соединительных проводников. На рис. 42, *а, б* представлены некоторые микроэлементы и смонтированный узел из микроплат.

Микроэлементы собираются с помощью специальной гребенки, имеющей пазы с шагом 0,75 *мм*. Наименьшее расстояние между

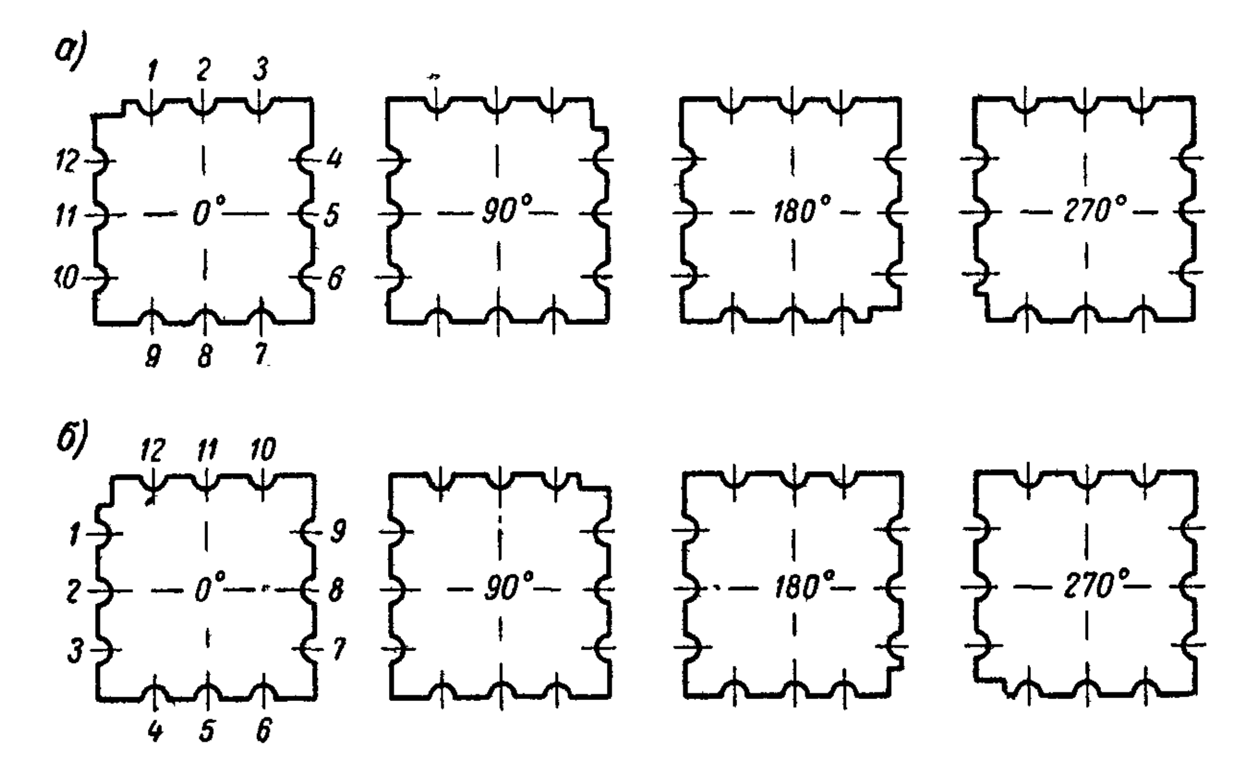


Рис. 43. Возможные положения микроплат при сборке: *а* — нормальные; *б* — перевернутые

двумя соседними элементами в микромодуле 0,2 *мм*. Крепление микроэлементов и их электрическое соединение осуществляется 12-ю соединительными проводниками. Их выполняют из медного провода марки ММ или МТ диаметром 0,35 *мм*. Проводники, проходя через пазы микроплат, припаиваются к ним кратковременным прогревом припоя, который находится на поверхности луженых соединительных проводников и в пазах микроплат. Соединенные микроэлементы образуют миниатюрную конструкцию, которая в дальнейшем подвергается герметизации.

В процессе сборки и монтажа микроэлементов, микроплаты можно установить в 8 различных положениях: четыре в нормальном, последовательно поворачивая микроплату на угол 90, 180 и 270° относительно ключа (рис. 43, *а*) и четыре — в перевернутом положении (рис. 43, *б*). При нормальном положении микроплаты большая сторона ключа (1 *мм*) расположена горизонтально в левом верхнем углу. Если она расположена вертикально в левом верхнем

углу, то это соответствует нулевому положению повернутой микроплаты.

Микроэлементы имеют определенную цоколевку — условное обозначение пазов микроплаты, с которыми могут быть соединены выводы радиоэлемента, установленного на микроплате. Каждый вывод радиодетали присоединяется только к одному из пазов: двухвыводные (резисторы, конденсаторы, катушки индуктивности) — к 1—4, 1—5, 1—8; диоды — к 1—6; трехвыводные (транзисторы) — к 1—5—8.

Для обеспечения механической прочности конструкции и защиты микроэлементов, собранных в пакет, от воздействия внешней среды производится герметизация микромодуля путем заливки конструкции эпоксидным компаундом типа ЭК-16Б в специальных формах. Герметизированный микромодуль имеет размеры по периметру 11 *мм*, а по высоте соответствует размеру на данный тип мик-

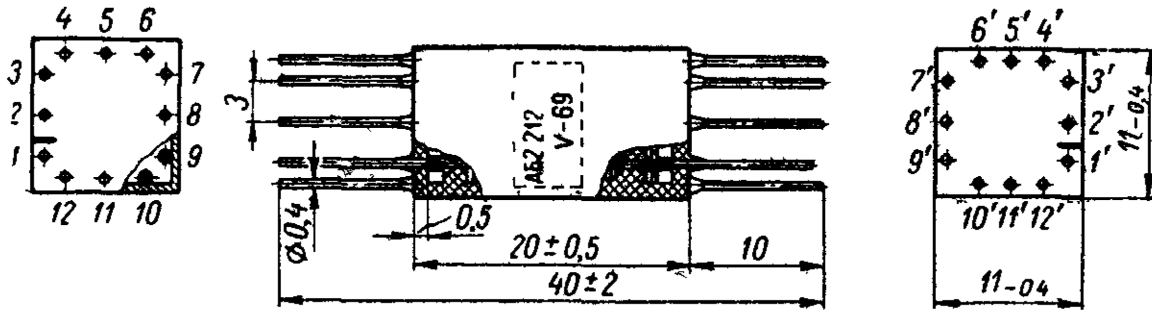


Рис. 44. Этажерочный микромодуль

ромодуля, но не более 25 *мм*. Длина выводов находится в пределах 10 ± 1,0 *мм*. При централизованном производстве соединительные проводники выводятся с двух сторон, а в других случаях они изготовляются только с одной стороны микромодуля.

Микромодули имеют следующую маркировку: с одной стороны (грань, где проходят нижние соединительные проводники *1, 2, 3*) — номер чертежа или условное обозначение микромодуля, месяц и год выпуска, а с другой стороны (на грани, где проходят проводники *7, 8, 9*) — товарный знак завода-изготовителя. Верхняя часть букв и цифр обращена в сторону верхних (укороченных) выводов и нумерацию их принято обозначать — *1', 2', 3' ... 11'* и *12'*. Соединительные проводники, которые выходят со стороны нижнего основания маркировки микромодуля обозначают цифрами *1, 2, 3, ... 11* и *12* по часовой стрелке (рис. 44). Таким образом, по положению маркировки определяют верх и низ микромодуля и нумерацию его выводов.

На каждый микромодуль составляют паспорт и производят упаковку в специальную индивидуальную тару, состоящую из корпуса и крышки.

Сборку микромодуля производят по предварительно разработанной схеме, которой предопределяются цоколевка микроэлементов, их взаимное расположение и соединение с проводниками, положение перемычек и разрезы соединительных проводников. Перемычки

между проводниками и разрезы соединительных проводников позволяют производить монтаж микроэлементов с наименьшим числом цоколевок. Перемычки могут быть выполнены объемными из медной проволоки диаметром 0,1—0,15 *мм* или печатным способом и располагаться на отдельной микроплате.

На рис. 45 приведена электрическая схема плеча триггера. В табл. 28 дана схема сборки микромодуля. Номера позиций указывают последовательность сборки. Горизонтальные линии соответствуют соединительным проводникам. Проводники *2'—2* и *10'—10* имеют разрезы. Вертикальные линии с узловыми точками обозначают микроэлементы и их соединение. Для диодов ($Д_1$ и $Д_2$) указана полярность (+ или —), у транзисторов условно

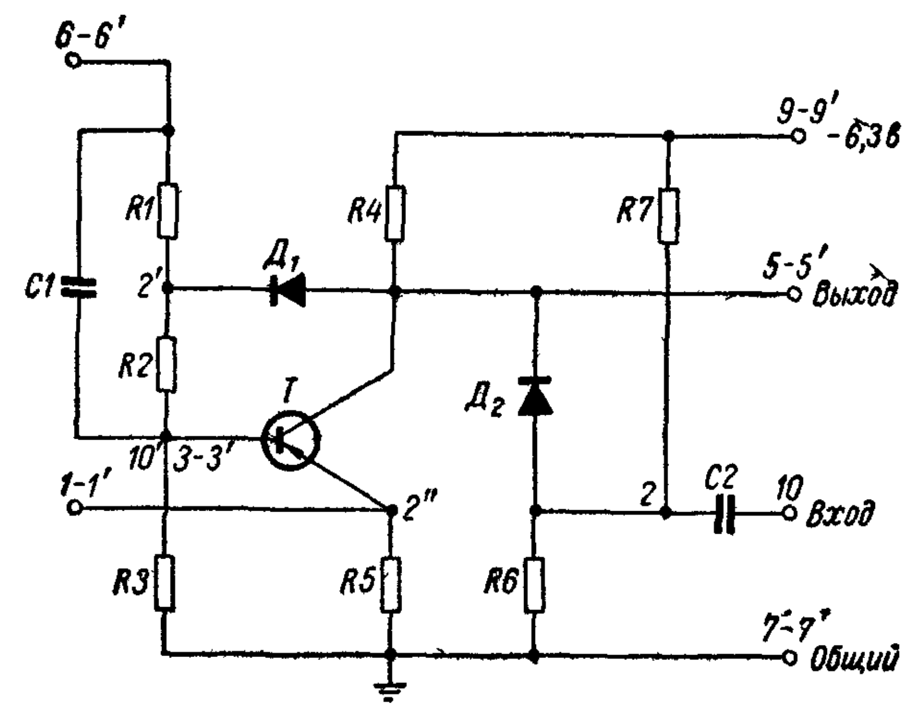


Рис. 45. Электрическая схема плеча триггера

обозначены выводы буквами Б, К, Э. Угол поворота микроплат при сборке указан относительно первого вывода микромодуля.

Для микромодулей часто используются напряжения питания 0,6; 1,2; 6,3 и 12,6 *в*. Максимально допустимое напряжение 150 *в*. На одну перемычку обычно допускается ток 0,15 *а*; на один соединительный проводник — 0,5 *а*. Допустимая мощность рассеяния в нормальных условиях для микромодуля — 0,5 *вт*. Пробивное напряжение между микроэлементами и между соединительными проводниками не менее 1000 *в*. Сопротивление изоляции между проводниками не менее 1000 *Мом*. Диапазон рабочих температур микромодуля от —60 до +70° С. Рассеиваемая мощность 50—100 *мвт*.

Срок хранения микромодулей устанавливается не более двух лет при температуре не менее +5° С и относительной влажности не выше 80% при отсутствии в воздухе вредных примесей.

Промышленность выпускает унифицированные микромодульные триггеры, мультивибраторы, блокинг-генераторы, видеоусилители,

Таблица 28

Номер позиции	Схемное обозначение микроэлементов (рис. 45) в порядке сборки	Цоколевка микроэлемента	Положение микроплаты (угол поворота): нормальное	Положение микроплаты (угол поворота): перевернутое	Условная нумерация выводов микромодуля	Высота микроэлементов в *мм*, не более	Толщина микроплаты с учетом лужения в *мм*, не более
1	$Д_2$	2—5	0°	—		1,2	1,2
2	R6	1—8	180°	—		0,49	0,49
3	C2	1—5	270°	—		1,8	0,49
4	R7	1—8	—	270°		0,49	0,49
5	R4	1—5	—	270°		0,49	0,49
6	П1	—	0°	—		0,49	0,49
7	T	1—8—5	270°	—		2,1	1,94
8	R5	1—8	180°	—		0,49	0,49
9	R3	1—4	180°	—		0,49	0,49
10	R2	1—5	270°	—		0,49	0,49
11	R1	1—5	—	180°		0,49	0,49
12	C1	1—4	—	180°		1,6	0,49
13	$Д_1$	2—5	—	180°		1,2	1,2

эмиттерные повторители, схемы совпадения, усилители низкой и промежуточной частоты, инверторы и другие схемы.

На рис. 46 показана конструкция радиоприемника, собранная из микромодулей. Применение микромодулей и компоновка их в блоки позволяет резко сократить объем и вес, а также повысить надежность и ремонтопригодность аппаратуры. Наряду с этим следует иметь в виду опасность создания перегрева в процессе эксплуатации, что может привести к изменению электрических параметров и отказу в работе приемника.

Микроблоки. Нормализованные этажерочные микромодули позволяют устанавливать их на плату с печатным монтажом, соединять между собой и создавать блоки. Микроблоки обеспечивают высоко надежную и экономичную малогабаритную конструкцию.

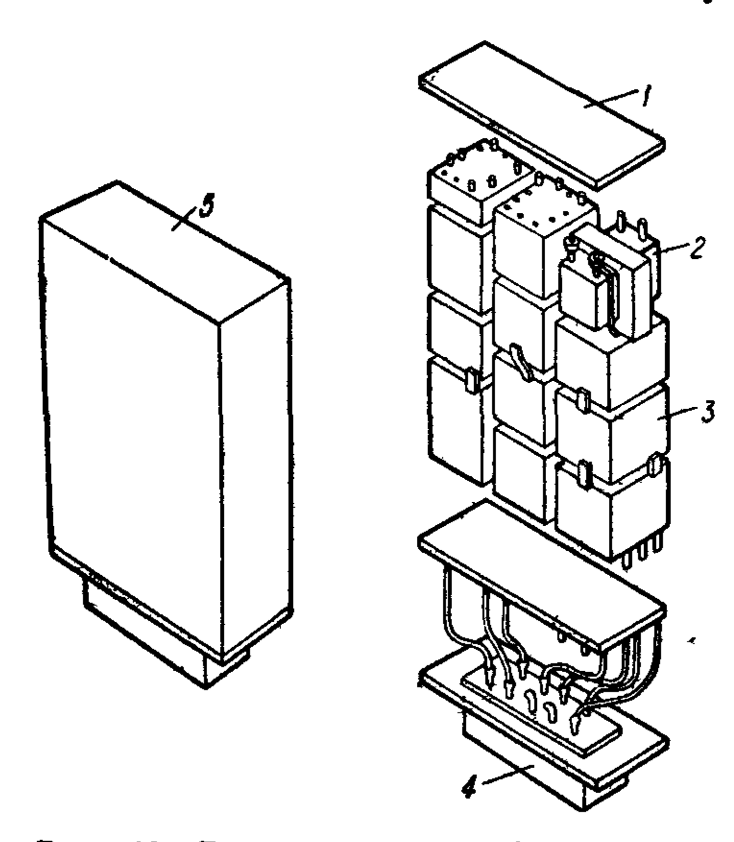


Рис. 46. Радиоприемник, собранный из микромодулей

1 — печатная плата; *2* — трансформатор; *3* — микромодуль; *4* — штепсельный разъем; *5* — кожух

Печатный монтаж для микроблоков должен удовлетворять не только конструктивно-технологическим требованиям, но и отвечать требованиям, предъявляемым к их электрическим параметрам. Сопротивление изоляции между соседними проводниками зависит от расстояния между ними, качества изоляции и условий работы микроблока. Независимо от метода изготовления печатного монтажа сопротивление изоляции между двумя проводниками находится в пределах 5—500 *Мом*. Емкость между проводниками, находящимися на расстоянии 0,4—0,8 *мм* друг от друга, колеблется в пределах 0,6—0,3 *пф/см*.

Монтаж и крепление выводов микромодулей осуществляется в соответствии со сборочным чертежом на микроблок. Микромодули обычно устанавливаются на плате вертикально с шагом 12,5 *мм*. Количество их в одном микроблоке от 4 до 32. Микромодули должны обеспечивать возможность механизации и автоматизации сборки. В микроблоках все объемные радиодетали, микромодули, объемные проводники и другие элементы располагаются на одной стороне платы. При этом микромодули могут располагаться в несколько рядов. После механического крепления выводов производят групповую пайку одним из способов механизированного паяния — погружением, волной и др.

На рис. 47 представлена широко применяемая одноплатная конструкция микроблока, которая содержит 32 микромодуля, установленных на плате в четыре ряда. Наряду с таким размещением микромодулей часто встречаются конструкции, где они устанавливаются между двумя платами — межплатные микроблоки с многорядным расположением микромодулей в шахматном порядке.

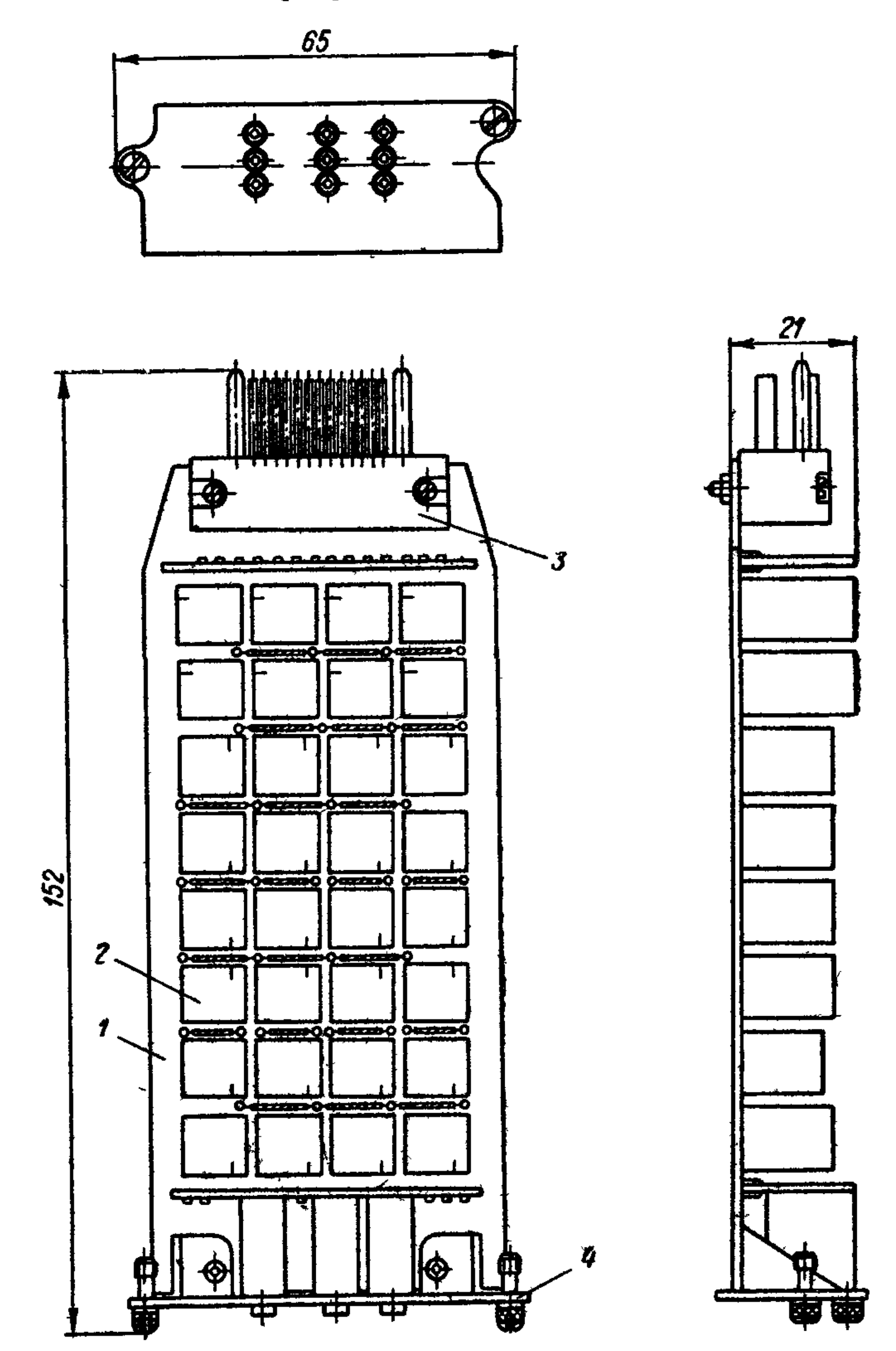


Рис. 47. Микроблок

1 — плата; *2* — микромодуль; *3* — штепсельный разъем; *4* — передняя панель

После настройки микроблоков в соответствии с техническими требованиями, с целью защиты конструкции от действия внешней

среды, платы микроблоков, соединительные выводы микромодулей и радиодеталей в местах пайки, подвергают покрытию электроизоляционным лаком типа СБ-1с.

Наряду с микромодулями в микроблоках применяются такие детали, как шасси, панели, штепсельные разъемы, крепежные детали, а также элементы для настройки и регулировки блока и др.

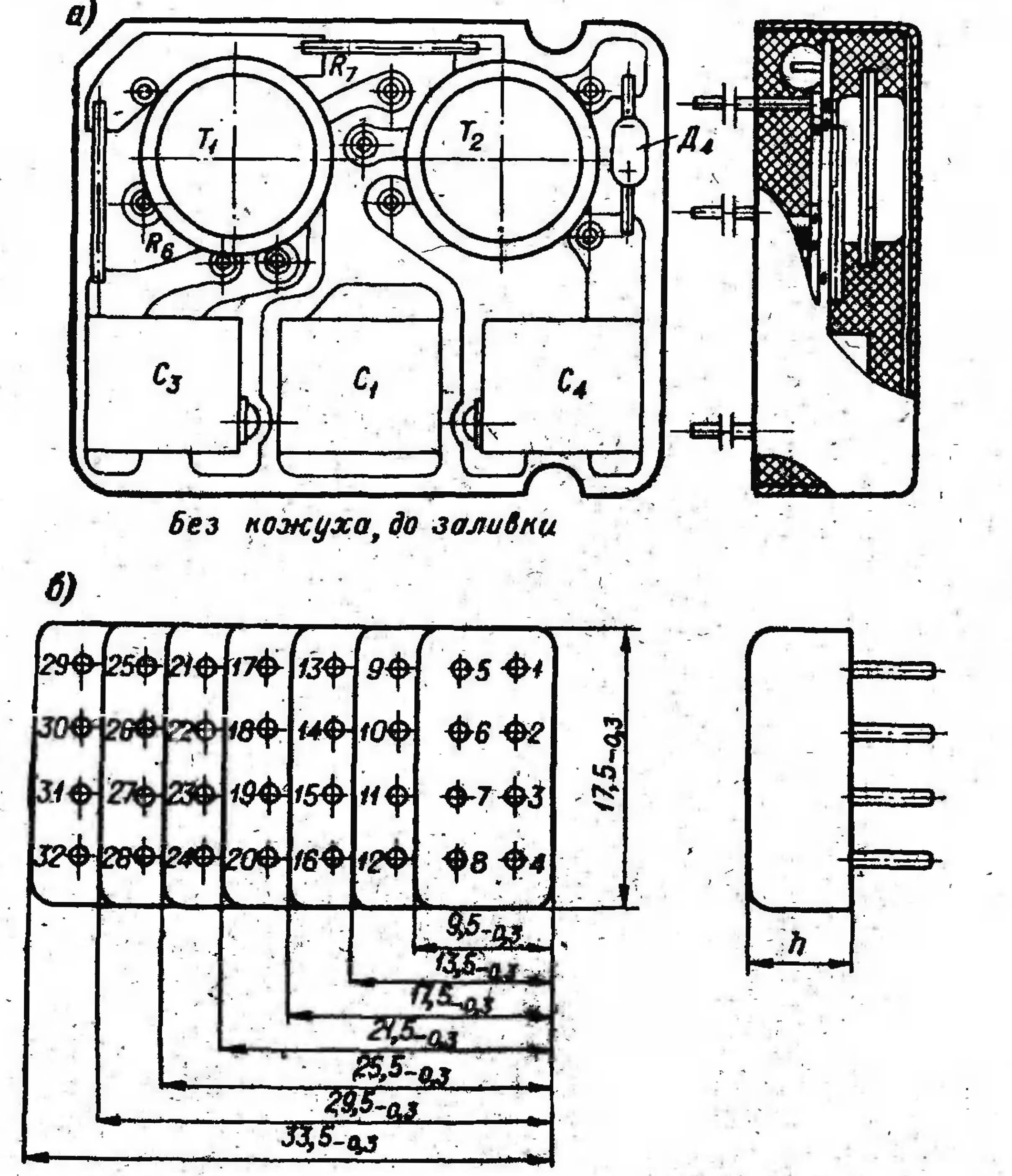


Рис. 48. Плоские микромодули: *а* — типовая конструкция; *б* — нумерация выводов

Плоские микромодули. При разработке радиоэлектронной аппаратуры применяются плоские микромодули (ПММ), выполненные из миниатюрных элементов. На рис. 48, *а* представлена типовая конструкция плоского микромодуля, который состоит из пассивных и активных микроэлементов, установленных на двух плоскостях тонкой печатной платы из гетинакса. Выводы располагаются в узлах координатной сетки с шагом 4 *мм*. Нумерация выводов про-

изводится в определенном порядке. Модуль помещается в алюминиевый корпус и заливается пенополиуретаном либо компаундом.

Все конструкции модулей имеют ширину 17,5 *мм* и высоту *h*-6,3 *мм* (реже 4,3 и 5,3 *мм*); длина изменяется в зависимости от количества и характеристик микроэлементов, входящих в функциональную схему — от 9,5 до 33,5 *мм* (рис. 48, *б*). Вес микромодулей, в зависимости от типоразмера равен 1,9—7 *Г*.

ПММ предназначены для работы в условиях температуры окружающей среды от —60 до +70° С.

Известны и другие конструкции микромодулей, у которых микроэлементы смонтированы на несущей плате из гетинакса толщиной 0,5 *мм*. Жесткая несущая плата имеет углубления под таблеточные микроэлементы, на которые накладывается гибкая печатная плата толщиной 0,05—0,1 *мм* из стеклоткани. Платы с элементами помещаются в металлический кожух и заливаются пеноматериалом или компаундом.

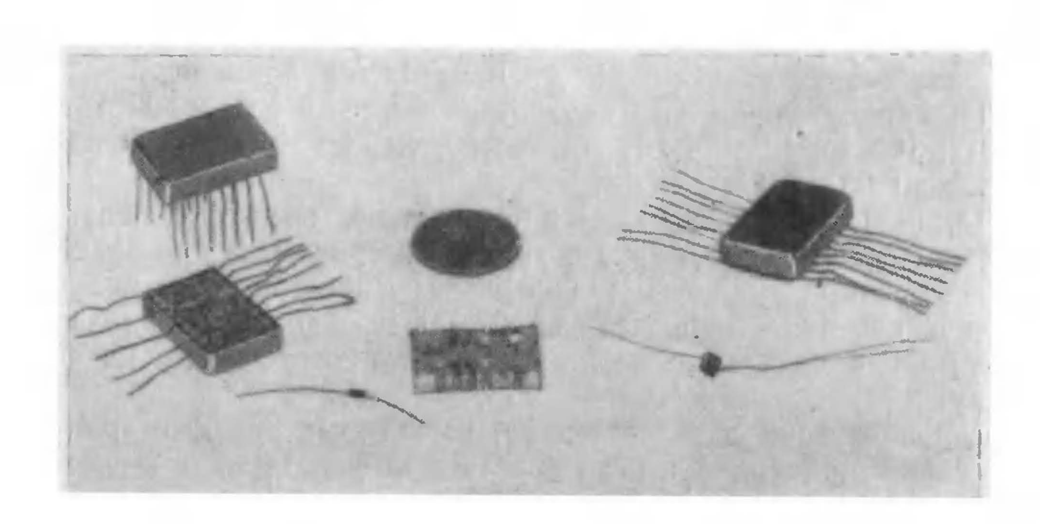


Рис. 49. Плоский микромодуль на основе элементов из микропровода

Имеются также плоские микромодули, сконструированные на базе элементов из литого микропровода (рис. 49). Конструкция такого микромодуля состоит из керамической платы, в отверстия которой вмонтированы микроэлементы в виде таблеток. Для осуществления электрической связи отдельных элементов на поверхности платы нанесены токопроводящие дорожки. Плата помещается в металлический корпус и заливается компаундом. Размеры микромодуля: 17 × 11 × 3,5 *мм*; вес — 1,2—1,7 *Г*.

25. Тонкопленочные микросхемы

Микроэлектронный тонкопленочный узел состоит из электроизоляционной платы (подложки), на которую нанесены элементы схемы из тонких пленок. Тонкопленочные микросхемы состоят из пассивных элементов, но они могут содержать и навесные объемные

активные микроминиатюрные элементы. Размещение, форма, геометрические размеры пленочных элементов и соединения их, а также последовательность нанесения слоев схемы на подложку называют топологией пленочных микросхем.

Параметры и функции микросхемы определяются материалом, размерами и формой наносимых на подложку пленок. Напыление можно производить в один или несколько слоев. Для изготовления подложек применяется стекло, ситалл, керамика, кварц, слюда, стеклоткань и другие материалы. Большое распространение получило стекло марки С41-1, С48-3 и др. Оно является термостойким диэлектриком, обеспечивающим высокую стабильность элементов схемы; поверхность стекла не требует специальной обработки, имеет хорошую сцепляемость с элементами по сравнению с другими материалами. В зависимости от микросхемы применяются подложки прямоугольной или квадратной формы с размерами 12×8; 12×12; 12×16; 12×20; 16×20; 24×30; 48×60 *мм* и др. Толщина подложек: 0,6; 1,0 и 1,6 *мм*.

Для напыления используются проводящие, магнитные, полупроводниковые, диэлектрические и другие материалы. В производстве тонкопленочных микросхем большое распространение получил метод испарения. Заключается он в нагревании материала до испарения в вакууме с последующим его осаждением на подложку.

Для получения паров вещества, из которых надлежит изготовить схему, применяются разнообразные по конструкции и способу нагрева испарители. Они отличаются между собой геометрической формой, размерами и условиями испарения. Испарители выполняются в виде спирали, чашечки (тигля) или лодочки. На спираль из тугоплавкой спирали навешиваются небольшие части испаряемого материала. При нагреве до соответствующей температуры навески плавятся, материал оплавляет испаритель, а затем начинает испаряться и осаждается на подложку. Для испарения большого количества вещества или в случае, если оно находится в порошкообразном состоянии, применяют лодочки или тигли.

В зависимости от топологии схемы используют трафареты (маски), которые накладываются на подложку и закрывают части ее, не предназначенные для покрытия. На рис. 50 представлена простейшая тонкопленочная микросхема и маски (рис. 50, *а—г*), необходимые для нанесения элементов схемы — проводников, резисторов и конденсаторов. Материалом для маски может служить тонкая пластина толщиной 0,07—0,15 *мм* из медной фольги, бериллиевой бронзы, нержавеющей стали и т. д. В зависимости от толщины листа маски, точности ее изготовления и точности совмещения маски с подложкой можно получить ту или иную точность элементов схемы. Наряду с масками применяют специальные покрытия краской, которыми закрывают часть подложки, не подлежащей осаждению пленки. После напыления защитная краска смывается.

Нанесение тонких пленок производится на вакуумных установках, состоящих из вакуумной системы, камеры для напыления и электрической части. Такие установки позволяют создавать в камере, где происходит нагревание и осаждение материала на подложку, вакуум 10^{-5}—10^{-6} *мм. рт. ст.* Контроль электрических параметров наносимых элементов осуществляется автоматически в процессе напыления.

В целях защиты элементов схемы от влияния внешней среды, повышения механической прочности, стабильности и надежности применяют лакокрасочные покрытия, заливку узла стеклянной массой или компаундом типа СБ-1с. Микросхемы также могут быть помещены в защитные корпуса, которые снабжены выводами.

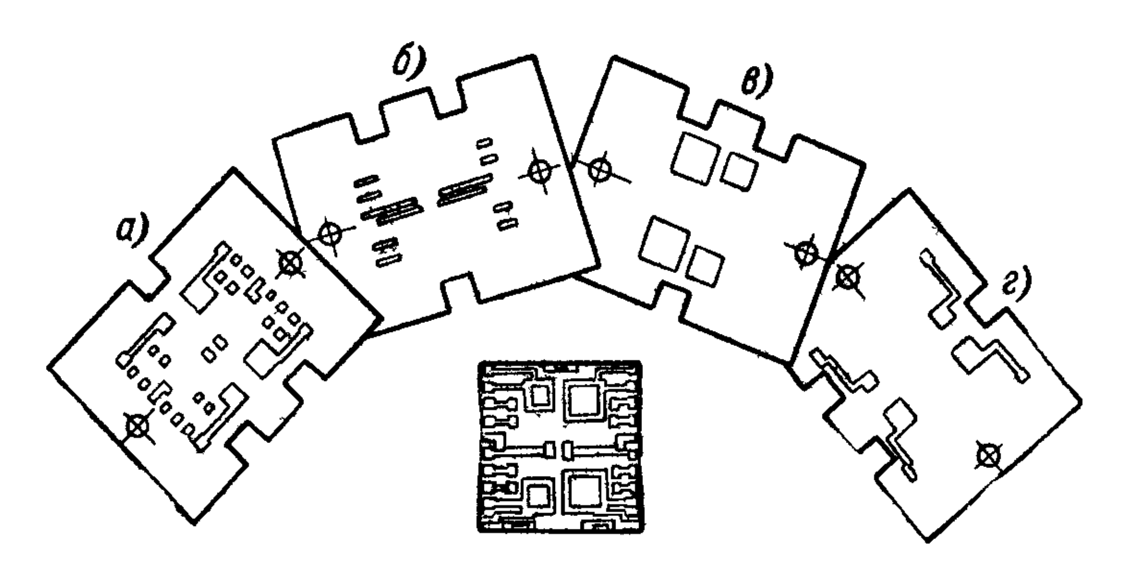


Рис. 50. Тонкопленочная схема и маски: в центре — внешний вид микросхемы; *а* — маска для напыления проводников и нижних обкладок конденсаторов; *б* — маска для напыления резистивных пленок; *в* — маска для нанесения диэлектрической пленки конден саторов, *г* — маска для нанесения верхних обкладок конденсаторов

Элементы микросхем. Тонкопленочные элементы имеют ряд преимуществ по сравнению с навесными объемными радиодеталями. Они обладают малым уровнем шумов, повышенной температурной стабильностью, большим удельным сопротивлением и хорошим температурным коэффициентом. Пленочная микротехнология позволяет получать резисторы и конденсаторы широкого диапазона номиналов, а также другие пассивные элементы. Напылением тонких пленок на подложку можно создать не только функциональные микросхемы, но и *RC*-цепи с распределенными параметрами.

Резисторы. Для резистивных тонких пленок могут быть использованы тантал, хром, вольфрам, титан, платина, нихром, константан и другие материалы. Номинальная величина сопротивления резистора определяется удельным сопротивлением нанесенной пленки, ее толщиной и площадью поверхности. Расчет номинального сопротивления резистора производится на единицу его поверхности.

Токопроводящие пленки имеют толщину 20—80 *нм* (200—800Å). Диапазон номинальных значений сопротивлений резисторов от

0,1 до 50 *ком* при отклонении от номинала ± 5—10% и более могут быть получены на небольшой площади; мощность рассеяния резисторов около 1 *вт/см²* площади резистивной пленки; удельное сопротивление 200—500 *ом* на квадрат.

Тонкопленочные резисторы стойки к изменениям температуры. Их можно изготавливать с положительными и отрицательными температурными коэффициентами. ТКС резисторов в диапазоне рабочих температур от —55 до +125° С находится в пределах от —3,9 до $+2,2 \times 10^{-4}$ *град* $^{-1}$.

Обычно напыленные резисторы требуют доводки величины сопротивления до номинального значения. Для этого применяются обработка резисторов лазерным лучом и другие методы.

Конденсаторы. Емкость конденсатора определяется материалом и толщиной подложки, характером нанесенной пленки диэлектрика, их диэлектрической постоянной и площадью токопроводящих пленок.

Пленки диэлектриков получают разложением неорганических соединений, электрохимическим путем, полимеризацией лаков и т. д. Для этой цели применяют окислы металлов, керамику, стекло и другие материалы. Тонкие пленки из титана, тантала, ниобия и другие могут быть подвергнуты электролитической обработке, в результате которой на их поверхности будет получена тончайшая диэлектрическая окисная пленка. Таким образом, одна сторона нанесенной пленки будет токопроводящей (нижний электрод), а другая явится диэлектриком, поверх которой может быть напылена металлическая пленка (верхний электрод). В качестве диэлектрика для конденсаторов может также применяться моноокись и двуокись кремния, сульфид цинка, анодированный алюминий и другие материалы. Толщина пленок из диэлектриков 100—500 *нм* (1000—5000 Å).

В зависимости от материалов, толщины диэлектрика, его свойств и площади номинальные значения емкостей конденсаторов находятся в пределах 100—100 000 *пф* с отклонением от номинала ± 10—20%; рабочее напряжение 15—30 *в*; удельная емкость пленки на единицу площади порядка (10—15) $\cdot 10^3$ *пф/см²*. ТКЕ не превышает ± (3—4) $\times 10^{-4}$ *град*$^{-1}$ в диапазоне температур +20—85° С. Точность изготовления тонкопленочных конденсаторов зависит от точности изготовления маски, скорости и времени, а также условий напыления.

Тонкопленочные конденсаторы являются наиболее сложными элементами, обладающими малой надежностью.

Другие элементы схем. Методами пленочной микротехнологии могут быть получены и другие элементы. Однако изготовление, например, катушек индуктивности более 5—10 *мкгн/см²* в микроминиатюрном исполнении представляет большие трудности, а поэтому предпочитают применять эти элементы в объемном исполнении.

Для соединения элементов микросхемы и обеспечения электрического контакта с внешними выводами производится напыление проводников и контактных площадок. Проводники могут быть выполнены из меди, алюминия, золота, платины, палладия, нихрома. Толщина слоя пленочных проводников 100 *нм* и более. Они обладают сопротивлением 0,1—1,0 *ом* на квадрат площади и оказывают существенное влияние на характеристики микросхемы. Контактные площадки напыляются толщиной 100—150 *нм*. Одним из способов нанесения электрических контактных площадок является метод вжигания серебряной пасты.

Соединение пассивных элементов микросхемы с навесными объемными радиодеталями может быть осуществлено различными методами: ультразвуковой сваркой, термокомпрессией, лучом лазера и др.

26. Интегральные схемы

Основой производства полупроводниковых интегральных схем (ППИ) является процесс выращивания монокристаллов и получение различных *p—n*-переходов в полупроводниковом основании. ППИ схемы позволяют создать высоконадежную радиоэлектронную аппаратуру весьма малых размеров.

Наибольшее применение для твердых полупроводниковых схем получил кремний. Элементы из кремния надежно работают в условиях рабочих температур менее +125° С, что примерно в два раза превышает рабочую температуру германия. Кремний обладает значительным объемным удельным сопротивлением — до 10 000 *ом·см*, улучшенными шумовыми свойствами и обеспечивает создание в одном кристалле различную глубину *p—n*-переходов. Кремний поставляется на предприятия в виде монокристаллических слитков восьми групп, каждая из которых имеет несколько марок с буквенными обозначениями типа проводимости, например: КЭФ — кремний электронной проводимости (*n*-типа), легированный фосфором; КЭФЗ — кремний электронной проводимости, легированный фосфором и золотом; КДБ — кремний дырочной проводимости (*p*-типа), легированный бором; КДА — кремний дырочной проводимости, легированный алюминием и др.

Образование электронно-дырочного *p—n*-перехода достигается методами вплавления, диффузии, а также эпитаксиальным выращиванием кристаллов и другими способами. Метод вплавления заключается в том, что в подготовленное основание из полупроводника определенной проводимости вплавляют материал, имеющий противоположную проводимость. Так, например, *p—n*-переход может быть получен, если основание схемы выполнить из кремния типа *n* и в верхний слой вплавить атомы алюминия. Тогда этот слой приобретет проводимость типа *p*. Площадь и глубину переходов регулируют количеством и размерами участков, которые подвергаются сплавлению, а также температурой и режимом проведения технологического процесса.

Получение *p—n*-перехода методом диффузии может быть осуществлено, если подготовленное основание из полупроводника подвергнуть процессу диффузии примесей. При этом на подогре-

тое основание действуют атомы примесей в паровой фазе, которые диффундируют в него. Нагрев полупроводника производится в присутствии донорной и акцепторной примесей, например, бора и фосфора в газообразном состоянии.

Образование p—n-переходов может быть осуществлено также в процессе выращивания кристаллов полупроводников путем изменения условий их роста и введения различных примесей в расплавленный материал. Эпитаксиальное выращивание кристаллов производится за счет осаждения паров полупроводникового материала на подложку того же полупроводника, которая нагрета до температуры ниже точки его плавления.

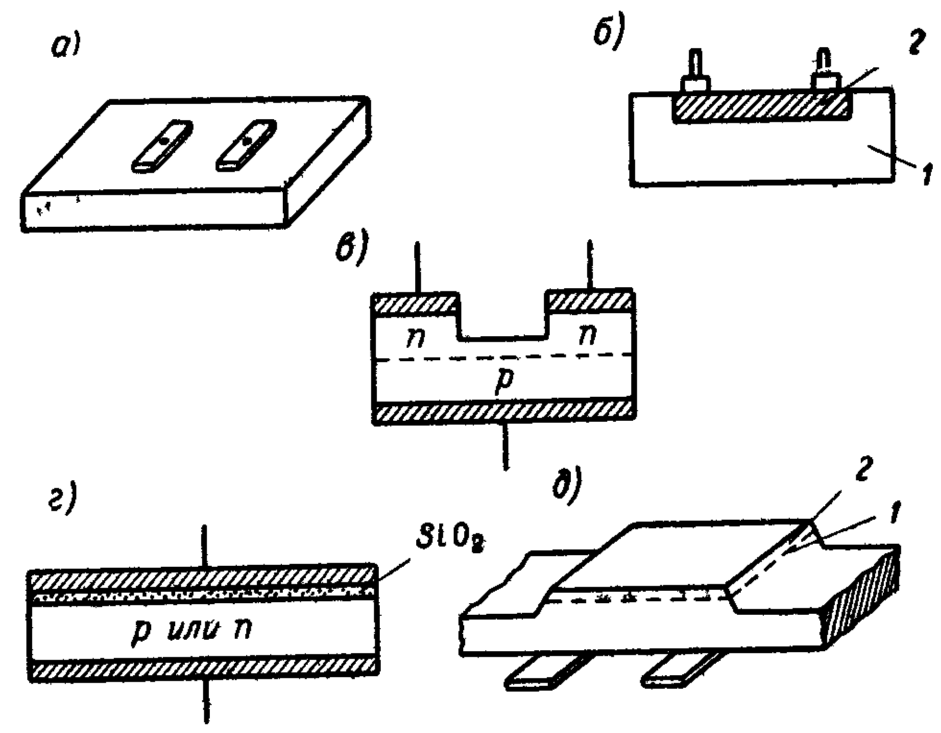


Рис. 51. Пассивные элементы интегральных схем: *а* — резистор постоянного сопротивления с основанием p- или n-типа; *б* — резистор постоянного сопротивления с основанием (*1*) p-типа и диффузионным слоем (*2*) n-типа; *в* — резистор переменного сопротивления; *г* — конденсатор постоянной емкости; *д* — RC-цепь с p — n-переходом (*1*) и диффузионным слоем (*2*)

Элементы полупроводниковых интегральных схем могут быть получены по так называемому планарному технологическому процессу. Этот процесс предусматривает размещение всех схемных элементов, изолированных друг от друга, под слоем окисной пленки из двуокиси кремния (SiO_2). Полученные при этом методе схемы имеют повышенную стабильность и надежность.

Развитие микромодульной техники характеризуется появлением микромодульного способа компоновки интегральных схем. В настоящее время созданы твердосхемные модули (ТСМ), которые содержат пассивные и активные элементы. ТСМ заключается в плоский металлический корпус со штырьковыми выводами, который заливается компаундом и имеет размеры 21,3×6,3×2,3 *мм*; вес 0,7 *Г*. Модули могут эксплуатироваться при температуре окружающей среды от —60 до +60° С. Применение микроэлектронных узлов позволяет создавать надежную микроминиатюрную аппаратуру.

Элементы микросхем. Современные методы изготовления интегральных схем позволяют получать пассивные и активные элементы, а также RC-цепи с распределенными параметрами. Наряду с этим могут быть получены p—n-переходы с нелинейными отрицательными сопротивлениями — туннельные диоды, униполярные транзисторы и другие виды активных элементов. Электрические параметры элементов схем обычно получают с отклонениями от номинальной величины ± 10—20%.

Резисторы. Методы изготовления интегральных схем позволяют получить резисторы постоянного и переменного сопротивления. В качестве резистора постоянной величины могут быть использованы отдельные участки однородного полупроводника p- или n-типа проводимости, имеющего два электрических контакта (рис. 51, *а*). Величина сопротивления такого резистора определяется удельным сопротивлением, длиной и площадью сечения этой области материала основания и постоянна в широких пределах приложенного напряжения. Номинальное значение сопротивления достигает 40 *ком*; резисторы обладают небольшим температурным коэффициентом и малым уровнем шумов. Резисторы другого вида предусматривают использование поверхностного сопротивления полупроводника (рис. 51, *б*). На монокристалл наносится тонкий слой полупроводника противоположной основанию проводимости. На границе двух слоев образуется p—n-переход, в результате которого ток протекает только по тонкому поверхностному слою. Такие резисторы обладают большой стабильностью и хорошими шумовыми свойствами. Номинальная величина сопротивления резистора достигает 5000 *ом*. При необходимости может быть получено несколько поверхностных резисторов на одном основании, имеющем отдельные участки, которые изолированы друг от друга прорезными канавками.

Резистор переменного сопротивления содержит полупроводник p-типа, на который нанесен слой n-типа и электрические контакты (рис. 51, *в*). Конструкция резистора переменной величины имеет пространственный заряд (область, ограниченная пунктирной линией и слоем p-типа) и напоминает конструкцию транзистора.

Конденсаторы. В качестве конденсатора постоянной емкости используются p—n и n—p-переходы, на которые подается смещающее напряжение. Функции диэлектрика выполняет запирающий слой перехода, от характера и размеров которого зависит величина емкости. Такой конденсатор полярен, а его емкость нелинейна и зависит от приложенного напряжения.

Другим типом полупроводникового конденсатора постоянной емкости является конструкция конденсатора с основанием кремния, имеющего p- или n-переход, на поверхность которого в качестве диэлектрика нанесена окисная пленка SiO_2 (рис. 51, *г*). Электродом является токопроводящий слой, который наносится на окисную пленку; другой обкладкой является монокристалл основания,

имеющий электрический контакт. Такие конденсаторы неполярны, стабильны в работе, имеют высокую рабочую температуру.

Величина емкости конденсаторов может достигать порядка 20 000 *пф* при рабочих напряжениях до 300 *в*.

В фильтрах низкой частоты, линиях задержки и других устройствах применяются *RC*-цепи с распределенными параметрами (рис. 51, *д*). Они представляют собой полупроводник, которому придали одновременно свойства резистора и конденсатора.

Диоды и транзисторы. В интегральных схемах активные элементы получают теми же способами, что и пассивные элементы.

Диоды (рис. 52, *а*) могут быть получены диффузионным слоем, имеющим *n*-переход и полупроводииковым монокристаллом *р*-типа. Один соединительный проводник крепится к электроду, имеющему омический коитакт *n*-типа, а другой — к основанию твердой схемы

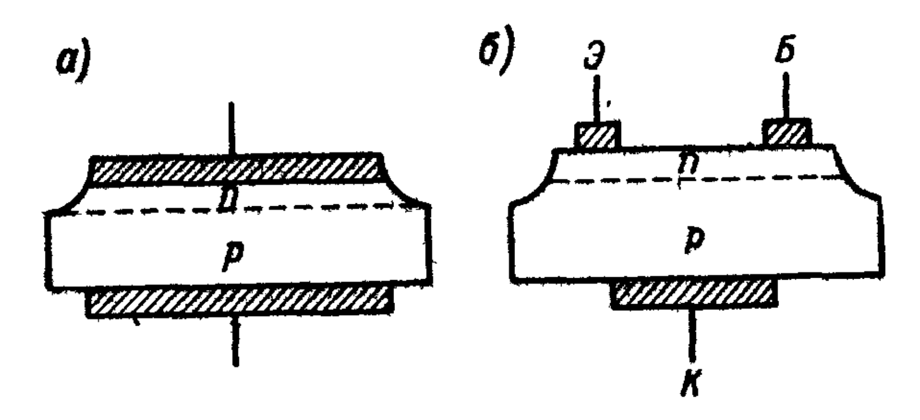


Рис. 52. Активные элементы интегральных схем: *а* — диод; *б* — транзистор

из полупроводника *р*-типа, имеющей контактную площадку. Диоды получают также методами вплавления и планарной технологии.

Процесс изготовления транзисторов (рис. 52, *б*) диффузиоиным методом предусматривает подготовку основания, получение диффузиоиного слоя и коллекторного перехода *р—n*-типа, нанесение эмиттера, базы и коллектора. На основание из кремния *р*-типа наносится диффузионный слой *n*-типа. Эмиттерный электрод изготовляют из материала *р*-типа, например, из алюминия. Базовый электрод — из материала *n*-типа, например, из золота с добавлением примеси. В качестве коллектора используется полупроводниковое основаиие схемы *р*-типа. Планарный метод изготовлеиия транзисторов предусматривает расположение переходов эмиттер — база и коллектор — база на одной плоскости осиования схемы.

Некоторые характеристики транзисторов, применяемых в интегральных схемах: коэффициент усиления по току $\beta = 30—50$; допускаемая мощность рассеяния до 0,5 *вт*; пробивное напряжение эмиттер — база 5 *в* и более, а коллектор — база 40 *в* и более; предельная частота усиления — несколько сот *Мгц*.

Соединения между элементами схемы. Электрическое соединение отдельных элементов схемы и создание системы выводов представляют определенные технологические затруднения и являются заключительным этапом в производстве интегральных схем.

Электрическое соединение слоев с переходами *р*- или *n*-типа может быть осуществлено самим основанием полупроводника или специальными металлическими контактами с малым сопротивлением, которые получают осаждением металла на полупроводник. Соединительные проводники могут быть прикреплены термокомпрессионным способом, заключающимся в том, что вывод или соединительный провод прижимается к металлизированным контактам основания интегральной схемы подогретым клиновидным пуансоном под большим давлением с выдержкой в несколько секунд. Подогрев ведется до температуры 250—300° С; давление 500—700 *кГ/см²*.

Полупроводниковый материал часто сам служит соединительным элементом. На поверхность основания наносятся тонкие металлические слои и после термической обработки осажденного слоя получают электрические контакты той же проводимости, что и полупроводник. К этим контактам термокомпрессией или ультразвуковой сваркой крепятся выводы из позолоченных коваровых полосок (проволок) или выводные рамки.

В целях защиты от механических повреждений и действия окружающей среды интегральные схемы подвергаются герметизации, что повышает их иадежность.

В настоящее время широко используется компоиовка нескольких интегральных схем в единый микроэлектронный блок. Схемы размещаются в микрокорпусах или используются без корпусов, но располагаются на одном основании и защищаются лакокрасочным покрытием. Известны микроэлектронные конструкции с этажерочной компоновкой интегральных схем, расположенных на микроплатах, что способствует еще большему уменьшению размеров блока. Одним из решений соединения интегральных схем между собой является применение конструкций с печатным монтажом. Соединения и выводы должны обеспечивать высокую надежность работы схемы.

27. Гибридные схемы

Для сложных радиоэлектронных устройств наиболее перспективными являются гибридные схемы. В них полупроводниковое основание, в котором заключены активные элементы, покрывается плотной пленкой из двуокиси кремния (SiO_2). Пассивные элементы напыляются на поверхности SiO_2.

В гибридных схемах могут применяться пассивные элементы из толстых пленок с широким диапазоном их номинальных значений, имеющие отклонения от номинала в пределах от ± 0,05 до ± 20%. Резисторы высоко стабильны, имеют низкий температурный коэффициент сопротивления. Пленочные конденсаторы отличаются высокой удельной емкостью и небольшими токами утечки. Схемы могут содержать также элементы индуктивности.

Гибридные схемы подвергают герметизации, помещая их в корпус. Часто корпус имеет штырьковые контакты, которые вставляются в отверстия плат с печатным монтажом. Конструкции радиоэлектронной аппаратуры на основе гибридных схем могут быть получены в виде единого блока, состоящего из нескольких гибридных схем. Полученные микроэлектронные узлы обладают малыми паразитными емкостями и хорошими характеристиками на высоких частотах. Они успешно применяются, например, в конструкциях высокочастотных блоков приемоусилительной аппаратуры. Примером выполнения микроузла может явиться усилитель высокой частоты радиоприемника, который выполняется в виде гибридной схемы, содержащей два активных и шесть пассивных элементов. Все восемь элементов выполнены на одном полупроводниковом основании размером 2,54×1,27 *мм*. Монокристалл кремния содержит два транзистора и покрыт пленкой SiO_2, на которую нанесены четыре тонкопленочных резистора и два конденсатора.

ЛИТЕРАТУРА

1. Азарх С. Х. Конденсаторы переменной емкости. «Энергия», 1965.
2. Бальян Р. Х. Трансформаторы малой мощности. «Судпромгиз», 1961.
3. Белевцев А. Т. Микроминиатюризация радиоэлектронной аппаратуры. «Энергия», 1965.
4. Волгов В. А. Детали и узлы радиоэлектронной аппаратуры. «Энергия», 1967.
5. Верхопятницкий П. Д. Электрические элементы судовых радиоэлектронных и судовых вычислительных устройств. «Судостроение», 1967.
6. Гальперин Б. С. Непроволочные резисторы. «Энергия», 1968.
7. Гусев В. П. Технология производства радиоэлектронной аппаратуры. «Советское радио», 1961.
8. Иванов-Есипович Н. К. Инженерные основы пленочной микроэлектроники. «Энергия», 1968.
9. Колосов А. А., Горбунов Ю. Н., Наумов Ю. Е. Полупроводниковые твердые схемы. «Советское радио», 1965.
10. Конструирование микромодульной аппаратуры. Под ред Барканова Н. А. «Советское радио», 1968.
11. Майоров С. А. Проектирование и производство модулей и микромодулей. «Машиностроение», 1968.
12. Малинин Р. М. Резисторы. Массовая радиобиблиотека, вып. 591. «Энергия», 1965.
13. Мартюшов К. И. и Зайцев Ю. В. Резисторы. Конструкция, основы технологии и параметры. «Энергия», 1966.
14. Рение В. Т. Электрические конденсаторы. «Энергия», 1969.
15. Рогинский И. И. Основные направления микроэлектроники. Сб. Геофизическая аппаратура. Вып. 37, «Недра», 1968.
16. Фрумкин Г. Д. Расчет и конструирование радиоаппаратуры. «Высшая школа», 1968.
17. Цымбалюк В. С., Крюков Ю. Г., Грибов Э. Б. Миниатюризация приемоусилительной аппаратуры. «Связь», 1968.

ОГЛАВЛЕНИЕ

Мне всегда нравились старые, сильно потрёпанные книжки. Потрёпанность книги говорит о её высокой востребованности, а старость о вечно ценном содержании. Всё сказанное в большей степени касается именно технической литературы. Только техническая литература содержит в себе ту великую и полезную информацию, которая не подвластна ни политическим веяниям, ни моде, ни настроениям! Только техническая литература требует от своего автора по истине великих усилий и знаний. Порой требуется опыт целой жизни, чтобы написать небольшую и внешне невзрачную книгу.

К сожалению ни что не вечно в этом мире, книги треплются, разваливаются на отдельные листы, которые затем рвутся в клочья и уходят в никуда. Плюс ко всему орды варваров, которым без разницы, что бросить в костёр или чем вытереть свой зад. Именно их мы можем благодарить за сожженные и растоптанные библиотеки.

Если у Вас есть старая книга или журнал, то не дайте им умереть, отсканируйте их и пришлите мне. Совместными усилиями мы можем создать по истине уникальное и ценное собрание старых технических книг и журналов.

Сайт старой технической литературы:

http://retrolib.narod.ru